جون تايلر بونر

علم الأحياء

مفاهيم وأسس

ترجمة

د. يحيى دسوقي

الكتاب: علم الأحياء.. مفاهيم وأسس.

الكاتب: جون تايلر بونر

ترجمة: د. يحيى دسوقي

الطبعة: ٢٠٢٢

الناشر: وكالة الصحافة العربية (ناشرون)



٥ ش عبد المنعم سالم – الوحدة العربية – مدكور- الهرم – الجيزة - جمهورية مصر العربية

هاتف : ٣٥٨٢٥٢٩٣ _ ٣٥٨٦٧٥٧٦ _ ٣٥٨٦٧٥٧٥

فاكس : ٣٥٨٧٨٣٧٣

http://www. bookapa.com E-mail: info@bookapa.com

دار الكتب المصرية

فهرسة أثناء النشر

بونر ، جون تايلر

علم الأحياء.. مفاهيم وأسس / جون تايلر بونر, ترجمة: د. يحيى دسوقي

– الجيزة – وكالة الصحافة العربية.

٢١٣ ص، ١٨*٢١ سم.

الترقيم الدولى: ٩ – ٤٨٧ – ٩٩١ – ٩٧٧- ٩٧٨

أ – العنوان رقم الإيداع : ٨٠٣٦ / ٢٠٢٢

علم الأحياء

مفاهيم وأسس



تقديم

يتكون علم الأحياء من مجموعة مذهلة من الحقائق، وربما كان هذا أكثر وضوحاً في علم الأحياء عنه في أي علم آخر. ويسبب هذا مشكلة عظيمة في الدراسة الأولية لعلم الأحياء، وذلك لأن مجرد تجميع هذه الحقائق يقتضي مجهوداً عظيماً ويترك وقتاً قليلاً للتأمل فيما تعنيه، وكيف تتوافق وتتطابق معاً. وليس من الغريب أن الطلبة كثيراً ما يفشلون كلية في إدراك معنى هذه الكومة المتفككة من المعلومات حتى نهاية الدراسة، أو ربما يلمسونها كخاطر أثناء الامتحان النهائي، وأسوأ من ذلك أنهم قد لا يدركونها إطلاقاً، وسرعان ما تنمحي هذه الحقائق غير المتماسكة من عقولهم.

والغرض الرئيسي للكتب الدراسية هو تقديم الحقائق بأسلوب مبسط ومنظم بقدر المستطاع، حتى يمكن للطالب دراستها والتحقق من صحتها. والغرض الرئيسي من الكتاب الحالي هو التسليم بصحة هذه المعلومات الأساسية، ثم التأمل في معناها مع الابتعاد عن التفاصيل بقدر المستطاع. فهذا كتاب عن المفاهيم أكثر منه عن حقائق علم الأحياء، على الرغم من أن الحقائق هي بالطبع أساس المفاهيم. ونحن نريد الحقائق، لأننا نستطيع بواسطتها أن ندرك المفاهيم. وإذا ما قصرنا همنا على الحقائق وحدها فإننا نكون كمن يأكل لب الكعكة ويهمل القشرة السكرية الخارجية بما لها من مذاق حلو وشكل فني جميل. وليس الكتاب الحالي بكتاب دراسي بالمعنى المألوف، إنه يشبه هذه القشرة السكرية.

وبمعنى آخر فالمادة المعطاة هنا مقصود بها أن تسير جنباً إلى جنب مع متن علم الأحياء. فقد كتب كقراءة تكميلية، ربما لتؤخذ في الجزء الأخير للسنة الأولى لمقرر علم الأحياء. وعلى أية حال، فالكتاب يعتمد على متن يمكن قراءته بواسطة الرجل العادي الذكي الذي يريد أن يتعرف التيارات الفكرية الحالية في علوم الأحياء.

وإذا اتجهنا الآن إلى الموضوعات التي يشملها هذا الكتاب، فسيتفق جميع العلماء الإحيائيين في ظني على أن التطور هو أعظم وأكثر ما يكتنفها جميعاً. وقد قدم التطور الإطار للحياة على وجه العموم، ومن ثم سيكون ذلك إذا إطار هذا الكتاب. ولكن قبل مناقشة هذه المسألة الجوهرية ربما يكون من المفيد اختبار الموضوع الأقل أهمية وهو موضوع الآلة الحية نفسها. وبالطبع فهذه الآلة، التي هي الخلية أساساً، قد أتت إلى الوجود كخطوة في التطور. ولكن إذا عرفنا أولاً بعض الأمور عن أعمال الجهاز الحي فسيكون من السهل علينا فهم أصل الحياة، ثم التكوينات التطورية بعد ذلك.

وبمجرد ما تتضح لنا ميكانيكيات التطور فسنرى بعدئذ أن العنصر الرئيسي هو طريقة مضبوطة ضبطاً محكماً لإنتاج تغييرات متوازنة في الذرية. وهذا هو دراسة وراثة الصفات أو علم الوراثة، وسيكون من المستطاع إظهار أن الوراثة والتطور يعملان بانسجام زائد في طريق التقدم الإحيائي.

ومن نتائج زيادة الحجم والتعقيد في الحيوانات والنباتات أثناء طريق التطور نشوء تكوين جنيني، وهو تفتح مستمر للبيضة المخصبة لتنتج البالغ المعقد القادر على أداء الوظائف، ومن ناحية فيمكن لنا رؤية علاقة التكوين بعلم الوراثة والتطور، ومن الناحية الأخرى يمكن لنا اختيار ما نعرفه ونفهمه عن عملية التكوين نفسها. وهذا الاستقصاء سيؤكد لنا كذلك الموضوعات التي لا

نعرفها، لأن علم الأحياء هو علم ذو مشاكل هامة كثيرة ما زالت قيد البحث.

ونتيجة أخرى للزيادة في حجم وتعقيد الكائنات أثناء التطور هي أنها علاوة على وجود أجهزة متقنة للاتصال والتحكم بين الخلايا بعضها البعض، كما في الكائنات النامية، فإنه يمكن لهذا الاتصال أن يمتد أيضاً إلى أبعد من الكائن نفسه لينتج كائنات تعيش في مستعمرات، وحتى كائنات جماعية، مثل النمل والنحل من بين الحشرات. وفضلاً عن ذلك، فقد تكون هناك علاقات بين أفراد لأنواع مختلفة، حيث يكسب أحياناً أحدها ويخسر الآخر. كما في حالة التطفل، وكذلك كما في الحالات الأخرى حيث يكسب كل من النوعين كما يحدث في حالة التعايش. وأخيراً فالكائنات في حالة اتصال مستمر مع مكونات البيئة بأجمعها، وهذا يؤدي إلى توازن الطبيعة حيث تتشابك أنشطة جميع أفراد الجالية الحيوانية والنباتية وتعتمد على بعضها البعض. وفي الحقيقة نحن نشاهد في هذا التركيب البيئي، ميكانيكية التطور في أثناء عملها. والحياة بأجمعها هي لحد ما وحدة واحدة، لأن التغير في أي جزء يؤثر على جميع الأجزاء الأخرى.

وأخيراً فمن الأهمية بمكان تطبيق بعض مفاهيم علم الأحياء هذه على الإنسان ونأخذ في الاعتبار طريقة تكوينه ووراثياته وتطوره. وإنه لمن المستطاع والأكثر أهمية أن نتأمل أموره البيئية ودوره المتغير على سطح الأرض، وما ينجم عنه من آثار في بيئته وفي النباتات والحيوانات الأخرى الموجودة حوله وفي مستقبله نفسه.

الفصل الأول

الخلية

نحن ننظر إلى الخلية على أنها وحدة صغيرة تبني النبات أو الحيوان، وصفة "صغيرة"، صفة غير محددة، وقد يكون من الأدق أن نقول إن قطر الخلية هو بالتقريب من ٨ – ١٥ ميكروناً (الميكرون هو $\frac{1}{1000}$ من الملليمتر).

وربما يكون أكثر فائدة أن نعرضها بطريقة أخرى، فالخلية صغيرة إلى حد أن جسم الإنسان يتكون من مليون مليون (١٠^١٣) خلية. وهذا يعني أنه إذا كبرنا الإنسان حتى يصل إلى حجم حجرة عادية، فحينئذ يصل حجم الخلية في جسمه إلى حجم رأس الدبوس تقريباً.

ومن حقائق الحياة المدهشة أن جميع خلايا الحيوان والنبات ما عدا البكتيريا من أصغر الأميبا إلى أكبر الفيلة، ومن الطحالب البحرية الدقيقة إلى شجر الخشب الأحمر الضخم، متشابهة التركيب تقريباً. فلكل منها نواة مستديرة محاطة بالسيتوبلازم. وتوجد الكروموسومات بداخل النواة وهي التي تحمل الصفات الوراثية أي عوامل الوراثة؛ ويوجد بداخل السيتوبلازم جسيمات متشابهة، كالأجسام السبحية. والسيتوبلازم في أغلبها محاط بغشاء الخلية الرقيق غير أن بعض الكائنات المثيرة للاهتمام أو أجزاء من كائنات ينقصها هذا الغشاء وبها نويات عديدة تتجول في كتلة كبيرة من السيتوبلازم. وهذا حقيقي فعلاً، في مراحل النمو المبكرة لعدد من النباتات والحيوانات. ولكن هذه الاستثناءات كما سنرى الآن، ليست بذات بال إذا اعتبرنا الخلية وحدة وظيفة

لا وحدة بناء.

وإذا كان تركيب جميع الخلايا متشابهاً في أساسه، فإنه من غير المستغرب أن نجد وظيفتها أو وظائفها متشابهة كذلك.

وأكثر وظائفها أهمية هو تحويل الطاقة؛ فهي تستوعب الوقود، وتحول الطاقة من الوقود إلى جميع المناشط الحية، مثل حركة الخلية. وكل خلية هي عبارة عن آلة دقيقة، أو بتعبير أكثر اصطلاحية؛ الخلية هي وحدة الأيض أو التحول الغذائي. وللخلايا وظيفة أخرى هي أنها تستعمل الطاقة المستمدة من الأيض في إنجاز التكاثر، وازدواج الأجزاء. وهذا هو أساس النمو والتكاثر، إذ بذلك تستطيع المادة الحية أساسياً، أن تتكاثر ذاتياً. ووظيفة ثالثة هي الاستجابة أو الانفعال، كما يسمى أحياناً. وهذا يعني أن الخلية تستطيع أن تستجيب للتنبيه، فتستطيع أن تتفاعل بهذه الوسيلة مع بيئتها والخلايا الأخرى التي قد تحيط بها. وهذا جمع بين الإدراك والتنسيق الذي هو ميزة حقيقية لأي محرك، لأية آلة مولدة للطاقة، فعجلات العربة تستجيب لتحريك عجلة القيادة وتنهج المكنة استجابة لتل واقف الانحدار.

والآن بعد أن اتضح أمامنا، بشكل إجمالي، ما يمكن أن يقال عن الخلية، فنختبر الأمر بمزيد من التفصيل. والذي نريد معرفته هو كيف تعمل هذه الآلة، كيف جمعت بعضها إلى بعض، وما الذي يجعلها تسير؟

وبالرغم من أن الخلية هي آلة، فمن الواضح أنه ليس بداخلها تروس أو عدد كساعة المعصم. وبعبارة أوضح يمكن وصفها بأنها آلة كيميائية (على الرغم من أن الفروق كبيرة) وعلى ذلك، فالمفروض أنه إذا عرفنا شيئاً عن المكونات الكيميائية للخلية، فربما أمكننا أن نعرف شيئاً هاماً عن عملها.

وتبدو معالجة هذا في البداية أمراً غير مشجع إلى حد ما، وبعملية حسابية سريعة يمكننا أن نتبين أن الخلية رغم صغرها تحتوي على عدد كبير من الجزيئات الكيميائية، والجزيئات في حد ذاتها صغيرة للغاية. وفي الحقيقة يحتوي متوسط حجم الخلية على حوالي مائتي مليون – مليون (٢×١٠^{١٤}) جزئ. إن هذا يعني أنه إذا كبرنا خلية في حجم رأس الدبوس إلى حجم حجرة متوسطة لأصبح كل جزء داخل الخلية في حجم طرف الدبوس تقريباً. وهذا الخاطر المذهب يحمل الخيال فوق طاقته، إذ لا جدال في أن فكرة إدراك الطريقة التي يعمل بها هذا الكيس المملوء بملايين الجزيئات تبدو مستحيلة، فإن الكثرة البالغة في عدد القطع يحول دون التعرف على مغزى كل منها.

زد على ذلك، أنه لا فائدة من تحليل المسألة على مستوى منخفض، فالجزيئات، من أصغرها كالهيدروجين إلى أكبرها كالبروتينات مركبة من البروتونات والالكترونات والنيوترونات، وتوجد هذه الجسيمات مع جميع الأشياء الأخرى في كل مكان داخل النواة الذرية، ويعني هذا أن الكائنات الحية ليست هي وحدها المركبة من الالكترونات والبروتونات والنيوترونات؛ إذ يتحقق هذا في جميع المواد. فالمنضدة، أو كوب الماء، أو طبقة الغبار، أو بلاطة الأرضية ليست أكثر من كتل من هذه الجسيمات الثلاثة الأساسية. ولا يجيب هذا على شيء ما، وإنما يبرز ما تنشده وهو: ما هو الشيء الخاص بشأن مادة الخلايا الحية، وكيف تختلف عن تلك التي في العالم غير الحي؟

ويستمد الجواب على ذلك بعض عناصره من أن الذرات والجزيئات في خلية تكون دائماً متخصصة في طبيعتها ونوعية في اتحادها. فمثلاً، من المائة نوع أو أكثر قليلاً للذرات أو العناصر الموجودة على الأرض، لا يوجد غير عدد محدود في المادة الحية. وهي في الحقيقة أربعة فقط عناصر: الأوكسيجين

والكربون والهيدروجين والنيتروجين– وهي المواد المتوافرة بكثرة عموماً. وتوجد مركبات الأملاح: الكالسيوم، الفوسفور، البوتاسيوم، الصوديوم، الكلور، والماغنسيوم بكميات صغيرة جداً. والمواد المتبقية الجديرة بالذكر لا توجد إلا بكميات ضئيلة جداً وهي: الحديد، المنجنيز، النحاس، الخارصين، الكبريت، اليوم، السليكون، الفلورين.

وتتحد هذه الذرات لتكون آلافاً عدة من مركبات أو جزيئات مميزة للخلايا. وبالإضافة إلى الماء توجد الكربوايدرات المختلفة، والدهون، والبروتينات، وهذه أكثر مجموعات المواد انتشاراً. وبالإضافة إلى ذلك، توجد الأحماض النووية والأملاح وكثير من المواد، مثل الفيتامينات، الموجودة بكميات صغيرة.

وقد بدأنا قليلاً فهم نظام هذه المسألة العويصة داخل الخلية الدقيقة. ويجب علينا الآن أن نستند على الكيميائي الحيوي الذي كان ناجحاً للغاية في عشرات السنوات القليلة الماضية، ونتساءل عن عمل هذه المجموعات وكيف تدار كجزء من جهاز الخلية. وما زال كثير من الإجابات المفصلة موضوع بحث حثيث ولكن الإجابات العريضة التي ننشدها هنا معروفة.

فبادئ ذي بدء يستعمل عدد من المواد وقوداً، أي أنها تحترق أو تتهدم لتنطلق منها الطاقة، كما يحترق الجازولين في السيارة. وأكثر الأمثلة وضوحاً هي الكربوايدرات، التي تحتوي ضمن أشياء أخرى، على سكريات بسيطة غنية في الطاقة. وللكربوايدرات فائدة أخرى هي اختزان الوقود. إن في استطاعة جزيئات السكر أن تتشابك معاً وتخرج من الدورة، بعيداً عن الاستعمال المباشر، وذلك على شكل نشاء. وإذا لزمت للتزود بالطاقة خلال فترة ماسة، فيمكن بسهولة تفتيتها إلى أجزاء، والحصول على جزيئات السكر مرة ثانية.

وتجد نفس الحالة تماماً في الدهون. ومركبات أجزاء الدهون، والأحماض الدهنية، هي وقود، وجزيئات الدهن الكبيرة هي أيضاً ملائمة كمخزن إذا وحتى البروتينات لها نفس الخاصية، ويمكن للأحماض الأمينية كذلك أن تحفظ كمصدر للطاقة.

وترتبط بعض المواد بنوع خاص بالوظيفة الدعامية، أي إنها تزود الحيوان أو النبات بالمادة الهيكلية الصلبة اللازمة لتكوين الدعامات والسليلوز، مثلاً، هي كربوايدرات صلبة تساعد الزهور الرقيقة على أن تنمو مرتفعة في الهواء، والأشجار الكبيرة العالية أن ترتفع فوق رؤوسنا. (ويوجد ذلك حتى في بعض الحيوانات كالمسماة ببخاخ البحر). والكيتين مركب له قرابة بالسليلوز، ويوجد في بعض النباتات الدنيا، ولكن أهميته الرئيسية هو في الهيكل الصلب الخارجي للحشرات والحيوانات المفصلية الأخرى. وتتكون بعض المواد الدعامية من البروتينات. ومن الأمثلة الأخاذة الكولاجين (موتد الفراء) كثيف القوام، الذي يكون الأوتار والأنسجة المماثلة في الحيوانات. ومثل آخر هو الشعر والأشياء التي لها علاقة به – ريش الطيور، قرون الخرتيت أو الأغنام، قشور الأسماك، حراشف الثعابين والسحالي، أظافر أصابعنا، أو مخالب القطط، وأخيراً، أملاح الكالسيوم التي تستعمل أحياناً إما بمفردها أو بالاشتراك مع مادة خلالية عضوية لتشكل العظام الصلبة في الثدييات، والهيكل الخارجي للاربيان، وعيدان المرجان، أو قرون الغزال.

وبجانب الغذاء، وتخزين الغذاء، والتدعيم الهيكلي، توجد وظيفة أخرى للخلية ترتبط مع مكونات كيميائية نوعية. وهذه هي الوراثة حيث إن التفاصيل التي تخص تركيب الخلية تتناقل من جيل إلى آخر. وتدرج هذه التفاصيل بطريقة ما، في الكروموسومات داخل النواة. ويوجد الآن دليل قاطع على أن الأحماض

النووية تشترك مع هذه المحتويات في تسجيل المعلومات ومن الأسباب التي تجعل هذه الأشياء تظهر ملائمة لهذه الوظيفة هو شدة ثباتها كيميائياً، ويمكن نسبياً استبقاء المعلومات أو تمريرها بقليل من الأخطاء أو التغييرات.

وربما تكون الأنزيمات هي أهم الأشياء في جهاز الخلية. وتتكون هذه جميعاً من جزيئات بروتينية كبيرة، ويوجد بداخل الخلية الدقيقة عدد هائل من أنواع مختلفة من الأنزيمات، ووظيفتها نوعية إلى حد كبير، ويتحكم كل أنزيم خاص في تفاعل كيميائي خاص. فمثلاً عند انقسام النشاء إلى الجزيئات التي يتكون منها، فإن هذه العملية تتم بوساطة أنزيم بروتيني وظيفته الوحيدة هي التوسط لهدم النشاء.

وتقربنا طبيعة الأنزيمات كثيراً لموضوع الطاقة، وهذه ستكون اللحظة المناسبة لنتمهل في مناقشتنا عن مكونات الخلية، ونرى كيف أن الخلية يمكنها أن تعمل كآلة مولدة للطاقة. ويكون ذلك تحولاً من كيمياء الخلية إلى فيزيقيا الخلية.

ولنبدأ بلمحة لبعض مبادئ الفيزيقيا، لأن الشيء الوحيد الذي يبدو مؤكداً هو أن الكائنات الحية لا تتحدى أي مبادئ فيزيقية. وقوانين علم الفيزيقيا في حالة الحيوان هي نفسها في حالة أي جسم خامل.

فالخلية صغيرة. ويوجد بداخلها كثير من الجزيئات الطافية هنا وهناك، بينما توجد جزيئات أخرى قد تكون ملتصقة بأغشية الخلية وبأبنية أخرى بالخلية وبأبنية الخلايا المجاورة. وطبقاً لنظرية الحركة للغازات، ما لم تكن الخلية عند درجة الصفر المطلق (– ٢٧٣م°) تكون جميع هذه الجزيئات في حركة دائمة، وتصير الخلايا في حالة حياة معطلة عند هذه الدرجة المنخفضة؛ وفي الحقيقة غالباً ما يكون البروتوبلازم غير جيد تحت درجة التجمد (.° م) وذلك لتكون بلورات الثلج.

وتكف خلايا نباتات القطب الشمالي عن جميع أنشطتها في فصل الشتاء، ويكون دم الحيوانات الراقية دافئاً ليحفظ حياتها. وإذن، حين تكون الخلايا نشطة يكون هناك قدر معقول من الحركة الجزيئية بداخلها.

وحتى أكبر الجزيئات هي في منتهى الصغر ولا يمكن رؤيتها بمجهر ضوئي، ولكن قد يصطدم الجزيء في أثناء حركته بجسم مرئي دقيق فيحركه. وهذه هي ظاهرة عامة يمكن مشاهدتها في المعلقات بجميع أنواعها، ولكنها اكتشفت أولاً في القرن التاسع عشر في خلية اللقاح الحية في النبات، وذلك بواسطة عالم النبات روبرت براون. والفهم الكامل لطبيعة ظاهرة "الحركة البراونية" كما تسمى، لم تكن مفهومة إلى أن ظهرت أعمال أينشتاين في القرن الحالي. وقد اتضح لي بقوة منذ عدة أعوام ماضية أنه ليس من الضروري أن تكون هذه الظاهرة مرتبطة بالحياة. فقد كنت أختبر بعض شرائح مجهرية قديمة مترية حضرت عام ١٨٩٠، وكانت تشكل جزءاً من مجموعة في متحف نباتي. وأثناء فحص الخلايا بواسطة التكبير العالي للمجهر، أصبت بصدمة قاسية، وذلك لأنه كانت هناك حركة داخل بعض هذه الخلايا والتي ظلت حبيسة في غراء بلسم لأكثر من خمسين عاماً. ولما عرف السبب علمت أني لم أكن ألاحظ حركات حيوية ولكن حركة براونية، وما زال هناك سائل داخل الخلايا، وجسيمات مرئية عارية كافية لتندفع هنا وهناك بواسطة الحركة الجزيئية.

وعلى الرغم من أن حركة الجزيئات هذه ما هي إلا ظاهرة فيزيقية توجد في الخلايا الميتة كما توجد في المعلقات، فإن الخلايا الحية تستغلها كذلك. ويحدث الانتشار بواسطة هذه الحركة، والانتشار هام للخلايا كوسيلة لنقل المواد من مكان إلى آخر. وإذا كان هناك تركيز عال لمادة عند بقعة معينة، نجدها تتبدد أخيراً وتنتشر حتى تتوزع المادة بالتساوي في كل مكان. فمثلاً، إذا وضعنا نقطة

من محلول صبغة في كوب ماء ساكن، فستتلون لفترة منطقة واحدة فقط، ولكن بعد ذلك سيتلون جميع ماء الكوب بلون متشابه. هذا لأن جزيئات الصبغة تتحرك، ويصطدم بعضها ببعض وتقفز في كل مكان إلى أن تصل في النهاية لحالة الاتزان فتنتشر على مساحة كبيرة. وإذا كان من المستطاع أن يكون هناك غشاء يمنع جزيء (كالسكر مثلاً) من الحركة بينما يمكن للمذيب (ماء) المرور بسهولة خلال الثقوب الصغيرة للغشاء، فنجد أنه يمنع أو حد من انتشار السكر، ولكن يظل الماء مندفعاً خلال الغشاء بواسطة الانتشار ليخفف السكر، وتكون النتيجة أن يصبح الكيس الذي يحتوي على السكر منتفخاً للغاية، ويكون له ضغط داخلي موجب، وهو ما يسمى بالضغط الأزموزي. وهذا ما يحدث بالضبط للخلايا؛ إن الانتشار، وحركته الجزيئية، هو مظهر الطاقة التي تؤثر على الأجهزة الحية.

ويجب أن يقال هنا شيء نهائي بشأن الحركة الجزيئية. فكما ذكر ضمناً من قبل تتناسب درجة الحركة طردياً مع الحرارة، وهذه الحقيقة يشار إليها تحت الاسم العام لنظرية الحركة للغازات.

وبينما تكف جميع الحركة عند درجة الصفر المطلق، تزداد كلما ارتفعت درجة الحرارة. وهيه الزيادة ليست على وتيرة واحدة بالضبط، إذ تتوقف في بعض الأحيان. وهذه الوقفات أو الحالات هي: الصلبة، السائلة، والغازية. وإذا كان الماء تحت درجة الصفر المئوي، فيكون ثلجاً؛ وفوق الصفر المئوي يكون ماء؛ وفوق درجة ١٠٠° يكون بخار ماء. والفرق بين هذه الحالات يمكن أن يعزى دائماً للفروق في نشاط الجزيئات عند درجات الحرارة المختلفة. وهذا يعني، فضلاً عن ذلك، أن الحرارة ليست بأكثر من حركة جزيئية، وكلما ارتفعت درجة حرارة المادة تحررت بشدة مركبات جزيئاتها.

ونحن في هذه المناوشة القصيرة مع علم الفيزيقيا نهتم حقيقة بالطاقة، وقد أوضحنا أن الطاقة يمكن أن توضح نفسها في مجال الحركة الجزيئية. وهذا، بالطبع، ليس النوع الوحيد من الطاقة، فمثلاً توجد طاقة كيميائية، الطاقة التي تنتج بواسطة تفاعل كيميائي. وتوجد طاقة آلية أي الدفع أو الجر البسيط لمكابس آلة أو لأذرعنا وأرجلنا. وتوجد طاقة كهربائية، وهي عظيمة الفائدة في حياتنا الحديثة، وأخيراً توجد الطاقة الإشعاعية، وهي الطاقة التي تنتج على هيئة أمواج ضوئية أو حرارية من مصابيح الضوء المضيئة، والحديد الساخن، أو الشمس المتوهجة.

ويوجد مبدأ قديم مربك إلى حد ما يسمى قانون بقاء الطاقة. وهذا يعني أن الطاقة لا يمكن أن تفنى ولا يمكن أن تستحدث، وأنه لا يمكن أن يكون هناك آلات دائمة الحركة. ومن من الأطفال لم يمض ساعات محاولاً اختراع آلة تستمر في السير بكرات متدحرجة ومغناطيسات، ولكن عادة تصيبنا صدمة من صدمات الكبر عندما يتبين أن ذلك غير ممكن. ففي كل مرة يبدو لنا أننا في استحداثنا أو إفنائنا طاقة ما، فإن ذلك ما هو في الواقع إلا تحول الطاقة من شكل إلى آخر. وتوجد المسألة القديمة وهي أخذ زنبرك من الصلب، ولفه بإحكام مطلق لكي يمتلئ بطاقة آلية كامنة، ثم وضعه في حمام من حمض. فهل فنيت الطاقة حين تلاشى الصلب؟ والجواب هو كلا، لأن درجة حرارة الحمام الحمضي أصبحت أكثر ارتفاعاً، ذلك لأن الزنبرك كان ملفوفاً، وقد تحولت الطاقة الميكانيكية بمنتهى التخفية إلى حرارة.

ومن السهولة أن نجد أمثلة أكثر وضوحاً للتحول: تتحول الطاقة الكيميائية إلى حرارة في حريق الغابات، وتتحول الطاقة الكيمائية إلى طاقة آلية في كباس السيارة، وتتحول الطاقة الآلية إلى طاقة كهربائية في مولد كهربائي، وتتحول

الطاقة المشعة إلى طاقة كيميائية على لوح فوتوغرافي. ويمكن إيراد أمثلة عديدة ولكنها واضحة جداً فلا داعي لذكرها.

ويبدو أن أغلبية تغيرات الطاقة تحدث في دفعة واحدة كبيرة وحين تصل إلى حالة الاتزان يحدث توقف تام. ومهما كان فهذا ليس بصحيح لآلة تدور بالجازولين. وكلما أضيف الوقود، وكذلك ما دامت لم تتحطم الأجزاء الآلية، تتحول الطاقة الكيميائية باستمرار إلى طاقة آلية بجانب فقد بعض الطاقة إلى حرارة تتشتت في الهواء. وتسمى هذه الحالة حيث تتدفق الطاقة باستمرار وتتحول بلا انقطاع "بالحالة الثابتة" وهي نوع من حالة الاتزان اللانهائي. وفي ذلك تشبه هذه الكائنات الحية آلات في حالة عمل شبهاً تاماً، إذ أنها تأخذ الوقود باستمرار، وتحوله دائماً إلى طاقة آلية وصور أخرى من طاقة كيميائية، وحرارة. وبكون الوقود في الأصل في حالة الحيوانات دهوناً وكربوايدرات وبروتينات. وتحول النباتات الخضراء، من الناحية الأخرى، الطاقة المشعة. فترتطم أشعة الشمس بجزيئات الكلوروفيل وهي كنتيجة لذلك تصبح نشطة للغاية وتتهيج في حركاتها. وبهذه الطريقة يكون من المستطاع تشجيع غاز ثاني أكسيد الكربون والماء لتكوين السكريات. وتستمر خلاياها بعد ذلك في استعمال السكريات أو الوقود الكيميائي بنفس الطريقة كما تفعل خلايا الحيوان. وعند النباتات الخضراء خطوة تحويل زائدة، ولكنها في كلتا الحالتين تظل في حالة ثبات ما دامت هناك حياة. ولا تأتي حالة الاتزان النهائي الكاملة إلا في حالة الموت فقط.

إن هناك فروقاً عظيمة واضحة بين آلة جازولين وخلية بالرغم من تشابههما كمحولات للطاقة، وكما أوضحنا من قبل فبينما لإحداها عدد ومكابس فالأخرى ليست بأكثر من كيس كتلة غير متجانسة من المواد الكيميائية.

وهناك اختلاف آخر هو أن الآلات مصنوعة من مواد تختلف كلية عن وقودها، وإلا لكانت الآلة تستهلك نفسها في لمحة واحدة. ولكن الكائنات مشيدة من نفس المواد كوقودها ويعيش أكلة لحوم البشر سعداء على بني عشيرتهم.

ويبدو أولاً أنه من غير المستطاع أن تحترق مواد قابلة للاحتراق في فرن هو نفسه قابل للاحتراق، ولكن الطريقة التي تعمل بها الخلايا الحية هي المفتاح الحي لطبيعتها. فقد اكتشفوا طريقة بطيئة جداً لحرق الغذاء، بطيئة للغاية حتى إنه لا يوجد وميض لجميع الحرارة المستهلكة، ولكن وهجاً طفيفاً فقط هو الذي يحفظ الجسم دافئاً. وهو في الجوهر احتراق متحكم فيه، ويمارس التحكم بطريقتين: الأولى – وفيها تنقسم عملية الاحتراق إلى متسلسلة من التفاعلات الكيميائية كل منها ذات طاقة منطلقة أقل، والثانية – وفيها تتحكم كل من هذه حسب اعتبار معدل تفاعلها بواسطة أنزيم. وإن ذلك يشبه أخذ خطوات صغيرة كثيرة بدلاً من قفزة واحدة تهز العظام. وحين ذكرنا آنفاً أن الأنزيمات تتحكم في التفاعلات، كنا نعني على الأخص أنها تتحكم في سرعتها، أو بمعنى آخر، فالأنزيمات هي عوامل حاثة. إنها عوامل الضبط التي تحتفظ بقبضة محكمة على جميع التغيرات الكيميائية، وتنظم سرعتها.

إنني لا أعرف كم من التفاعلات الكيميائية تحدث داخل الخلية ولكن لابد أن يكون العدد كبيراً جداً، وإذا كان لكل تفاعل أنزيم نوعي خاص – أضف إلى هذا المواد المتفاعلة ونواتجها – تكون الصورة النهائية إذا صورة آلية كيميائية بعدد لا يصدق من أنواع مختلفة من القطع على الرغم من صغر حجمها. وبافتراض أنه يوجد ٢٠٠ مليون جزيء، فهذا يعطي كثيراً من الاحتمالات لآلة معقدة، ولكن لا تزال الصورة النهائية غير مرضية للغاية بخصوص رأي واضح عن آلة الخلية.

والشيء الملائم عمله في هذه الحالة هو وصف كل ما هو معروف عن التفاعلات الكيميائية ومسالك الطاقة في الكيمياء الحيوية الحديثة على الرغم من أنه موضوع كبير لا يمكن تناوله في مثل هذا الكتاب. وتجرى في الوقت الحالي بحوث كثيرة في هذا الميدان، وبينما يعرف كثير من الخطوات، إلا أن أكثر منها ما زال مبهماً، وتوجد ثورة من المعلومات عن عملية أيض الكربوايدرات، وربما تكون هذه واحدة من أحسن التسلسلات المفهومة للتفاعلات الكيميائية. فهي مدروسة بطرق كثيرة، ولكن أكثر ما تظهره على وجه الخصوص هو أن كل تفاعل ما هو إلا تفاعل عكسي، وأن عملية احتراق السكر التي تكون نتيجتها انطلاق الطاقة هي عكس لعملية تخليق السكر التي تحتاج إلى طاقة. وواضح أن الخلية يجب أن تكون قادرة على العمليتين، وإلا فلن تستطيع النمو. وإذا، فإن إحدى الطرق هي استعمال الطاقة المستمدة من الغذاء لكي نمد بها تفاعلات التخليق الصاعدة التي تحتاج إلى دفع خاص، وقد وضح هذا المبدأ بعينه من قبل في حالة التمثيل الضوئي لخلايا النبات الأخضر حيث تنشط الطاقة المشعة للشمس جزيء الكلوروفيل وهذا الجزيء الممتلئ طاقة يمكنه أن يعكس تفاعلاً كان سيذهب بطبيعة الحال هابطاً مطلقاً الطاقة، فيدفع التفاعل صاعداً بإعطائه طاقة وتكون النتيجة هي تخليق السكر.

وبالإضافة إلى تخليق مواد جديدة، وهي عملية في غاية الأهمية للبقاء والنمو، يوجد كذلك نوع خاص للتخليق هام للخلايا يمكن أن يسمى بنسخ الجزيئات. وهذا أيضاً ميدان للبحث العظيم، وذلك للاعتراف الشامل بأهميته. فمثلاً، إن إحدى الطرق التي يمكن لأنزيمات البروتينات الكبيرة أن تكون نوعية للغاية يقع في التفاصيل الدقيقة لبنائها. وتصنع البروتينات من الأحماض الأمينية مرصوصة معاً. وهناك حوالي أربع وعشرين كتلة بنائية من هذه الأحماض. ويمكن

وضعها معاً في اتحادات مختلفة عظيمة التنوع، بافتراض أن اتحاداً خاصاً ينتج عنه بروتين نوعي معين. وكذلك الحال فيما يخص الأحماض النووية، المصنوعة من متسلسلة من أربعة أنواع لكتل مختلفة البناء تكون متشابكة معاً على محور طويل من سلسلة من السكريات. ونفترض أيضاً أن لنوع هذه المواد علاقة بالطريقة التي تتشابك بها السلاسل ذات الأربعة الجوانب معاً. ويظن أن ترتيبها الوضعي يدل على مغزى خاص.

ويفترض أن مثل هذا الترتيب يوجد في الأحماض النووية للكروموسومات وتكمن فيه قواعد الميول الوراثية للأفراد.

وهذه المواد معقدة للغاية لدرجة أنه لا يمكن تخليقها من غير دليل أو مرشد مساعد، للتمكن من إنتاج مادة ذات تركيب وضعي معين. ويوجد في حالة الأحماض النووية دليل يستحق الاعتبار وهو أن سلسلة واحدة تصنع بجانبها سلسلة أصغر منها، وذلك بإحضار مكونات مجموعات الذرات بجوارها في الأماكن الملائمة لتشكل جزيئاً بنوى متشابه. ويسمى هذا النوع من التخليق أحياناً "تخليق قالبي"، وذلك لأن الجزيء الأبوي يقوم مقام القالب. وتوجد فيما يختص بالبروتينات شواهد وأدلة تشير إلى أن أنواعاً خاصة من الأحماض النووية (حامض الريبونيوكليك **RNA**) تصنع بروتينات معقدة بنفس الطريقة. وهذه تقوم مقام القوالب لجزيئات البروتين الكبيرة النوعية. والأحماض النووية على الكروموسومات (الجينات افتراضاً) تختلف اختلافاً طفيفاً في طبيعتها الكيميائية، وتسمى بأحماض ديزوكسيريبونيوكليك "**DNA**" وتتكاثر بالطريقة الموصوفة سابقاً حين تنقسم الخلية، ويمكن لها كذلك أن تؤثر بواسطة التخليق على الترتيب الوضعي لحامض الريبونيوكليك، وبناء على ذلك على البروتينات النوعية. وفي تشبهنا للخلية كآلة صغيرة، فهذا النوع من التخليق بواسطة التناسخ هو نظام،

يمكن للآلة أن تستمر في تجديد أجزائها المستعملة والبالية، بل ويمكن لها أن تصنع آلات جديدة مشابهة لنفسها تماماً. وقد ابتدأنا نرى أن الخلية هي آلة ليست بذات إمكانيات صغيرة، وفي الحقيقة أن كفاءة هذه الحقيبة المملوءة بالكيميائيات للعمل لشيء مدهش تماماً.

وكلمة أخيرة بخصوص نشاط الخلية وطاقاتها، فقد استقر الرأي على أن الطاقة المستمدة من الغذاء (أو من إشعاع الشمس في حالة النباتات الخضراء) يتلاشى جزء منها على هيئة حرارة، ويستعمل جزء كمصدر للطاقة في الأشكال المتعددة لتخليق مكونات كيميائية جديدة. ويوجد استعمال هام آخر لهذه الطاقة، وهو أنها تهيئ الوسائل التي بها يمكن للخلية أن تتحرك، وغالباً ما يكون هذا استجابة لبيئتها. فمثلاً، قد يظهر كثير من الخلايا نوعاً من الانكماش عندما تهتز بعنف بأي طريقة كانت. وبالطبع، فإن الخلايا العضلية في الحيوانات الراقية مخصصة للحركة، ولكن جميع الخلايا قادرة على ذلك إلى درجة ما. وفي بعض الحالات تتجول الخلية بأسرها، كما في حالة الأميبا. وفي الحالات الأخرى ربما تكون الخلية محصورة داخل جدارها الصلب، كما هو الحال في كثير من خلايا النبات، حيث ينساب السيتوبلازم في كل مكان داخل هذا السجن. إن آلية الحركة تكاد تكون غير مفهومة على الإطلاق (بالرغم من المحاولات العديدة لفهم هذه المشكلة)، مع استثناء ملحوظ لوظيفة عضلة الحيوان حيث حدث تقدم كبير في السنوات الأخيرة. ويبدو أنه يوجد نوع منقبض من جزيئات البروتين يصطف في بناء منتظم جيد النسج، وبالتنبيهات الملائمة، يحدث تفاعل كيميائي ينتج عنه الانقباض. وما زال كثير من الدقائق العملية في طي الخفاء، ولكن الخطوط العريضة معروفة.

واستجابة الخلايا للتنبيه بهذه الطرق وغيرها تعرف بالانفعالية أو الحساسية،

وتحتاج هذه الاستجابات بوجه عام إلى طاقة. وإنه لمن الصعب أيضاً تحليل الاستجابات في خلايا مفردة معزولة، ولكن إذا نظرنا للمستقبلات المعقدة للحيوانات، تتأكد الآلية بوضوح ويمكن إجراء التجارب عليها. فمثلاً في حالة العين تحتوي بعض الخلايا على صبغة حساسة للضوء، كثيراً ما تشبه مستحلب فيلم فوتوغرافي. وحين يصيب الضوء هذه الصبغة فإنها تغير من تركيبها الكيميائي وتنتج تغيراً في الطاقة يؤدي إلى سيال عصبي ينتقل إلى المخ. ويحدث المثل تماماً في جوهره مع الأذن، إذ تنبه أمواج الصوت الخلايا الحساسة فيها، وتستجيب بدورها لتغير الطاقة مسببة سيالاً عصبياً يخبر المخ. وهذا حقيقي تماماً لمستقبلات الشم واللمس والتذوق. وفي كل حالة تكون الخلية أو مجموعة الخلايا حساسة لدرجة خاصة لتغير طاقة خارجية من نوع معين، وهذا يتحول بواسطة الخلية المستجيبة إلى سيال عصبي.

وبالإضافة إلى ذلك، فهذه السيالات وانتقالها تستعمل طاقة تهيأت لها خلال الوقود أي الغذاء. ومن المسلم به أن كمية الطاقة المحتاج إليها قليلة، وعملية التفكير، رغم الشعور الشخصي لهذا الموضوع، تحتاج إلى طاقة على هيئة غذاء أقل بكثير عن الطاقة اللازمة لعملية تكسير الخشب. وهناك موجة تغير في النفاذية تسير في غشاء العصب وتسمح فجأة بحرية مرور الأملاح خلال الغشاء، وبهذه الطريقة يستمر سير السيال العصبي باستمرار.

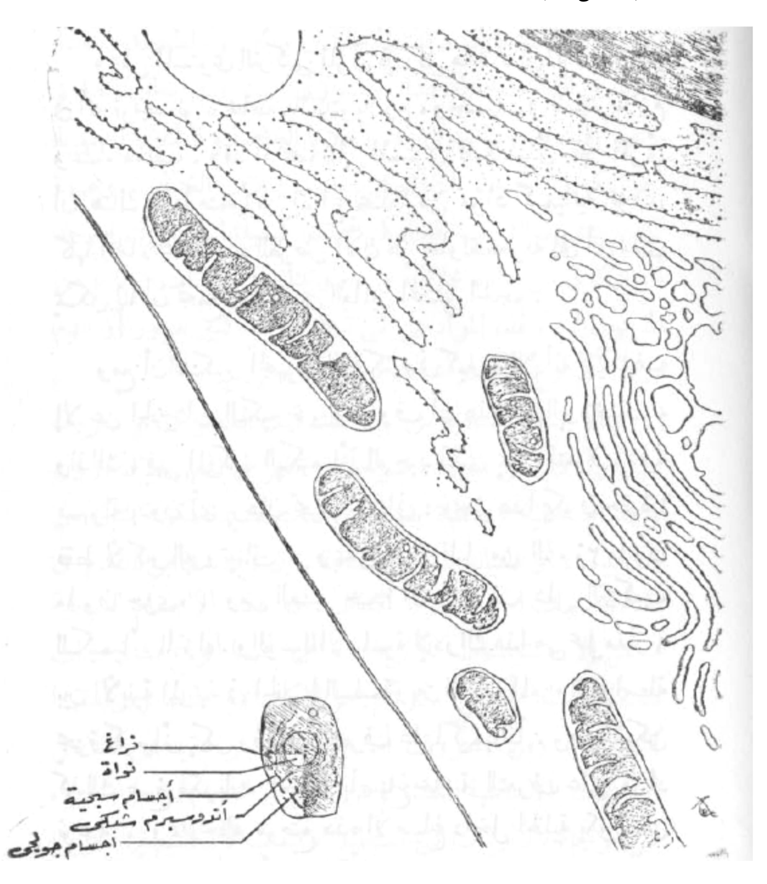
وهي تشبه فتيل المفرقعات في أنه يزود الطاقة لعمله على طول الطريق كلما تحرك. وحين ينتهي السيال العصبي يصير العصب المستعمل في حاجة إلى طاقة لإصلاح نفسه ليعود إلى حالته الأصلية ويتحكم ثانية في توزيع أملاحه. لذلك، نحن نرى أن جميع مظاهر انفعالية الخلية واستجابتها تقتضي تغيرات في الطاقة، ولدينا الآن بعض المعلومات السطحية عن كيفية حدوث هذه التغييرات

وفي كل حالة أمكننا إضافة تفاصيل جديدة عن أعمال آلة الخلية.

والشيء الوحيد الذي ينقص صورة المعرفة الحاضرة للخلية، هي المعلومات الأوضح والأكثر دقة في بنائها. وقد تركت هذا إلى النهاية، إذ أنه يبدو لي أننا إذا نظرنا أولاً إلى ماذا يمكن للخلية أن تفعل، فسيكون لأجزائها العاملة مغزى كبير لإمكان ربطها بأبنية معينة. سيكون هذا حقيقياً للغاية إذا تأكدنا في كل حالة من وظائف الأبنية التي نراها حقيقة، ولكن ما زالت رقعة علم الخلية مجهولة المعالم والحدود. ويرجع بعض ذلك إلى قصور المجهر الضوئي. وقد كان من الممكن منذ مائة سنة خلت عمل أدق الأجهزة، ولكن نظراً لطول موجات الضوء المرئي، فإن قوة التكبير والتحليل محددة تحديداً قاطعاً. وأكثر التراكيب ذات الأهمية الحقيقية صغيرة لدرجة لا تسمح بملاحظتها.

وهناك، في الحقل المجهري، تقدم هام يسير ببطء على هيئة جهاز عظيم القدرة، قدرة لم يتم تحقيقها إلى حد عظيم. هذا هو المجهر الالكتروني، والذي يقوم على أن الالكترونات تنتقل في موجات أقصر بكثير من موجات الضوء. وعلى ذلك ففي الإمكان كشف أجسام صغيرة جداً. ولما كانت الالكترونات غير مرئية فيجب تسجيل الشعاع المكبر على لوح فوتوغرافي. وحتى على الرغم من معرفة المجهر من سنين عديدة، فلم يكن من الممكن استعماله بطريقة فعالة في المواد البيولوجية إلا حديثاً، لأنه كان لابد لذلك من التغلب على كثير من المشاكل الفنية وتحسين بعض الوسائل. فمثلاً يجب تقطيع الخلايا إلى شرائح رفيعة جداً، وتحسين الطرق لذلك كان بطيئاً للغاية. وكان أصعبها جميعاً هو وجود طرق مناسبة لتجفيف أو تثبيت الخلايا، حتى يمكن وضعها في الحجرة المفرغة المستعملة في أخذ الصور الفوتوغرافية بالمجهر الالكتروني بدون ظهور أي تشويه مخل. بينما ستسير هذه الطرق بدون شك خلال تحسينات ثورية عديدة

وتقدمية أكثر، فإن النتائج التي حصلت عليها للآن تعطي صورة جديدة باهرة لتركيب الخلية (شكل ١).



شكل ١– رسم لخلية الأحجام النسبية للخلية الصغيرة في الأسفل إلى اليسار. والجزء الكبير في الأعلى إلى اليمين يوضح الفرق في التكبير والشرح بين المجهر الضوئي العادي والمجهر الإلكتروني على التوالي.

وعلى المستوى التركيبي المرئي فإن كل ما قلناه إلى الآن ينحصر في أنه توجد نواة محاطة بالسيتوبلازم، وجسيمات في السيتوبلازم وغشاء مغلف. وقد أوضحنا على المستوى الكيميائي غير المرئي أن هناك عدداً ضخماً من أنواع مختلفة من مواد كيميائية تؤدي كلها أعمالاً مختلفة. والغرض الآن هو محاولة

معرفة إلى أي مدى يمكن لنا أن نجمع معاً هذين العالمين المختلفين الحجم.

ومع أن التكبير المجهري الالكتروني كبير، إلا أنه لا يكشف إلا عن الجزيئات الكبيرة. ومعروف أن هذه هي البروتينات، ولذلك، فهي المركب الكيميائي الوحيد الذي يمكن التعرف عليه بسهولة بدون أي برهان تجريبي إضافي؛ وحتى هذا يكون حقيقياً فقط لأكبر البروتينات. ويمكن رؤية قليل من الـ ٢٠٠ مليون جزيء، ومن العسير جداً أن نتعرف على التركيب الكيميائي لما نراه. والوسيلة الأساسية لإدراك هذا هي عمل مقارنة بين الأبنية المرئية في الخلايا السليمة وبين الأبنية المعزولة بواسطة جزء كيميائي يمكن رؤيتها والتعرف عليها كيميائياً. ومن الممكن كذلك صبغ مكونات الخلية بأصباغ خاصة للتعرف على مواد نوعية، وبملاحظة موضع هذه الأصباغ داخل الخلية يكون من المستطاع ربط علاقة أبنية ما بمواد نوعية.

ولنبدأ بالغشاء الخارجي للخلية، ويمكن لنا أن نراه رقيقاً للغاية.

وفي أغلب الخلايا يكون بسيطاً جداً في بنائه. وبالطبع يكون هذا الغشاء في النباتات محاطاً بجدار سليلوزي حيث يرى تنظيم السليلوز بالمجهر الالكتروني. وفي بعض الخلايا الخاصة، كالخلايا الدموية الحمر يمكن إزالة محتويات الخلايا بدون إتلاف الغشاء، وهذا الذي يدعى "الشبح" قد أمكن تحليله كيميائياً ومجهرياً. ووجد أنه يتكون من مادة خلالية من بروتينات وليبيدات (نوع من الدهون)، وهذه المواد هي التي تبين إلى حد كبير مرور أو عدم مرور أي نوع من المواد خلال الغشاء.

والأجسام السبحية من بين مشتملات السيتوبلازم معروفة جيداً وأكثر من غيرها وضوحاً، وتظهر في المجهر الإلكتروني كأجسام سجقية ومغطاة بغشاء ذي ثنيات عديدة مكونة شبكة من الأنابيب، أو غالباً، صفائح مسطحة. إن أحد

مظاهر التقدم في أثناء السنوات الحديثة هو اكتشاف أن هذه الأجسام السبحية ما هي إلا مستودعات للأنزيمات، أي أنها أنواع من وحدات مستقلة لنشاط أنزيمي. ويمكن عزلها بوسائل مختلفة ودراستها كيميائياً، ومن المعروف أنها تشتمل على عديد من سلاسل الأنزيمات الأساسية المسئولة عن احتراق الطعام. ومن ناحية، فهي مزودة بالأنزيمات التي تستطيع استيعاب الأوكسيجين الجزيئي الذي يستعمل في عملية الاحتراق، ومن الناحية الأخرى تشتمل على الأنزيمات لهدم جزيئات الوقود. إنها مصانع صغيرة تطفو في كل مكان في الخلية. ويؤكد الترتيب الداخلي المنتظم الذي توجد عليه هذه الجسيمات أن الخلية ليست مجرد "كيس" يحوي مواد مختلفة وأنزيمات قادرة على هضم هذه المواد. ومثل هذا المحلول الخلطي لن يلتزم عملية أيض مستقرة، على الرغم من نفوذ الأنزيمات وتحكمها. وما يحدث هنا يشبه ما يجري بداخل مصنع كبير ذي نظام تجميعي، إذ أنه من الميئوس منه أن تتبعثر جزافاً جميع الأجزاء وجميع العمال المهرة في كل مكان بمبنى المصنع، بل يجب أن يكونوا في أماكنهم الملائمة حتى يمكن جمع الإنتاج سوياً في تتابعه السليم. وفضلاً عن ذلك فحقيقة بناء الأجسام السبحية وبناء جميع أجزاء الخلية هو تأكيد على أن الخطوات الكيميائية لا تتقدم بطيئة فقط أكثر مما تتقدم مندفعة، ولكنها تتقدم أيضاً في تتابع سليم.

وتشبه بلاستيدات النباتات الخضراء إلى حد كبير الأجسام السبحية (إلا أنها أكبر بكثير)، فإن وظيفتها هي التمثيل الضوئي الذي أشرنا إليه من قبل وهو كذلك عملية أيض. هذه الأجسام ما هي إلا مصانع أنزيمية من نوع آخر، والفرق الحقيقي الوحيد هو اختلاف في المواد الأولية التي تصنعها والمنتجات التي تنتجها. وبالطبع توجد أجسام سبحية في النباتات، وهذه الأجسام تستعمل السكريات المصنوعة بواسطة البلاستيدات.

وأحد الاكتشافات الحديثة المثيرة للاهتمام هو وجود غشاء مزدوج رقيق يتخلل السيتوبلازم، وهو ما يدعى "الشبكية الأندوبلازمية" وهذه ربما تكون أقرب شيء لدينا للفرض القديم عن وجود "هيكل خلوي" داخل الخلية. وهذه الشبكية مبطنة بنقط صغيرة متتابعة في صور الميكروسكوب الالكتروني.

ومعروف من الدراسات الحديثة أن هذه النقط تحتوي على حامض الريبونيو كليك **RNA** وبروتين. وهذا يعني أن الشبكية هي على الأرجح منطقة لتخليق البروتين. ومما يثير الاهتمام أن حجم ومسافات الشبكية الأندوبلازمية تقابل مثيلاتها في الغشاء النووي؛ ويتصل الاثنان ببعضهما في بعض الأماكن، ويرى البعض أن هذا هو حلقة الاتصال بين المعلومات الكيميائية المختزنة في النواة وإنتاج بروتينات نوعية في السيتوبلازم. ويوجد كذلك برهان جيد بأن الغشاء النووي مثقب بواسطة ثقوب تعطي طريقاً إضافياً سهلاً ممكناً للاتصال بين النواة والسيتوبلازم.

وما زالت دراسة بناء الكروموسومات بواسطة المجهر الالكتروني مخيبة للآمال. والصعوبة بدون شك هي في طرق تثبيت مواد الفحص. وأحسن صور الكروموسومات للآن هي من دراسات المجهر الضوئي للكروموسومات الضخمة في أعضاء بعض أنواع من الذباب، ولكن من المعروف أن هذه الكروموسومات قد شوهت بنمو غير طبيعي. ومن المتفق عليه أنها مخططة، وقد ثبت باختبارات كيميائية أنها تحتوي على مزيج من حامض الديزوكسيريبونيوكليك وبروتين. ويوجد في النواة كذلك جسم أصغر يسمى النوية التي لا يبدو فيها أي تركيبات خاصة ولكنها تبدو فقط ككيس مليء بمادة متجانسة، ومعروف أنها غنية بحامض الريبونيوكليك.

وبالإضافة إلى ما ذكر من التراكيب توجد تراكيب عديدة أخرى. فمثلاً،

يوجد عدد آخر من الجسيمات الصغيرة الموجودة في السيتوبلازم، ولكنها لم تناقش، لأن دورها في الأيض ما زال مبهماً (مثل أجسام جولجي). وتوجد كذلك أبنية مختلفة ليس لها علاقة مباشرة بكيمياء الخلية، مثل الأهداب، والأجسام القاعدية للأهداب، والنقط المركزية التي تلعب دوراً رئيسياً في انقسام الخلية). وهذا لا يعني أن تحليل بناء هذه الأجسام لم يكن مثيراً للاهتمام أو مجزياً، بل بالعكس تماماً، فإن بعض هذه التراكيب ملائم جداً للمجهر الالكتروني. ولكننا اقتصرنا هنا على الأبنية والأنشطة الأكثر أساسية في كيان آلة الخلية.

وفي ختام هذه المناقشة عن الخلية لابد أن نذكر أنه ما زال هناك كثير من الموضوعات الغامضة جديرة باهتمام علماء الأحياء التجريبيين. وسيبقى هذا المجال كما هو الحال حقلاً خصباً للبحث.

إن ما نعرفه يكون صورة لآلة كيميائية ذات أجزاء عدة غاية في التعقيد، وتحكمات كثيرة، وطرق ضبط عديدة. ويمكن أن تحتفظ بكيانها إلى ما لا نهاية؛ ويمكن أن تستبدل الأجزاء المفقودة عن طريق التخليق؛ وحتى يمكن لها أن تنمو وتتكاثر عدداً. وحين تصل إلى حجم معين ستنقسم اثنتين وسيكون لكل خلية جديدة جميع مكونات الخلية الأم. وحتى الجينات الموجودة على الكروموسومات ستزدوج تماماً في عملية الانقسام الميتوزي (غير المباشر). إن كل هذا يبدو جديراً بالاعتبار وخاصة حين نفكر في حجم الخلية، وفي الصعوبات التي نلاقيها في حل طلاسم الآلات الكبيرة التي ليس لها إلا القليل من خواص آلات الخلية.

الفصل الثاني

التطور

إن الخلية، حقيقة، وحدة حاذقة لدرجة مدهشة وحين نتأمل فيها من حيث التطور نجد أنه من الأسهل علينا أن نتصور خلية مفردة تتطور إلى حيوانات ونباتات معقدة عن أن نتصور مجموعة من مواد كيميائية تتطور إلى خلية حية. ومن المحتمل جداً أن الخطوة الأولى في التطور كانت من أصعب الخطوات، ولكن لسوء الحظ ليس لدينا طريقة للتحقق من ذلك، لأن الحوادث التي أدت إلى ظهور الخلية لم تترك، بكل تأكيد، أي أثر يمكن لنا أن نبحث عنه على سطح الأرض. ودراسة التطور المبكر لا تعدو التخمين المتواضع. وفي هذا معوق كبير لأننا لن نستطيع في النهاية أن نثبت صحة نظرية وخطأ أخرى، وربما يبدو هذا مزية عند البعض لأنه يعني استطاعة طرح مناقشة وحوار لا نهاية لهما في هذا المجال.

وخير لنا من الدخول في تأملات حول أصل الحياة، أن أقدم حقائق قليلة عما نعرفه حول ما يمكن اعتباره حفريات حية لما قبل الخلية. وفي هذا يكمن خطر عظيم؛ لأنه لا يمكننا التأكد أن هذه الأمثلة هي حقاً حفريات حية، ربما تكون بعض أنواع الخلايا حقيقية متدهورة تعطي مظهر طلائع أو خطوات في طريق تطور الخلية. ولكن سواء كانت خطوات تطورية حقيقية أو أنها تمثل بعض نواتج عمليات تدهورية مخصصة لخلايا عادية، ذلك ليس بذي أهمية في سياق الموضوع الآن. ذلك لأنها توضح، مع ذلك، كيف أن أجزاء خلية او خلية

مبسطة يمكن أن تبقى وتعمل.

والمثل الأول (والأقل احتمالاً أن يكون طلائع خلية، كما سيتضح فوراً) هو الفيروسات. والفيروس في الواقع هو جزء من خلية قادر على أن يوجد مستقلاً، وذلك يبدو كأن المخ، أو القلب يمكن أن يوجد بمفرده. والفيروسات أصلاً مكونة من مزيج من بروتين وأحماض نووية. ويمكن بلورتها وتخزينها في هذه الحالة الصلبة لفترة طويلة من الزمن. والفيروس إذا وجد بجانب خلية حية نوعية يمكن غزوها، دخلها وتكاثر بسرعة بواسطة الانشطار، حتى إن جسيماً واحداً يقفز فجأة إلى المليون، وذلك على حساب الخلية التي تأويه. وبمعنى آخر فإن الفيروسات هي طفيليات. وكثير من أمراض الإنسان ومنها شلل الأطفال فيروسية في طبيعتها.

والنقطة ذات الأهمية الخاصة، بالنسبة للفيروسات هي أنها لا تستطيع تحويل الطاقة بأنفسها: بالرغم من أنها محتاجة لطاقة للتكاثر. وبدخولها خلية يمكنها أن تحول طاقة الخلية لنفسها، فتتكاثر بسرعة، وغالباً ما تقتل الخلية. ولا توجد لدينا أمثلة معروفة لفيروس يتكاثر خارج الخلية، على الرغم من المحاولات المتكررة للوصول إلى ذلك. ويكمن هنا السبب الذي يجعلنا نتشكك في أن الفيروسات ليست حفائر حية، ولكنها طفيليات خلوية ظهرت حديثاً.

وتركيب مادة الجينات في الكروموسومات الموجودة في الخلايا العادية من الأحماض النووية قد أدى منذ زمن طويل إلى اعتقاد البعض أن الفيروسات ربما تكون كتلة بشكل ما من الجينات الطليقة. وسنعود إلى هذا الموضوع حين نعالج علم الوراثة.

ويكفي أن نقول هنا إنه يوجد كثير من الأدلة المتفرقة تشير إلى هذا الافتراض. وفي الإمكان في الوقت الحاضر دراسة وراثيات الفيروسات نفسها،

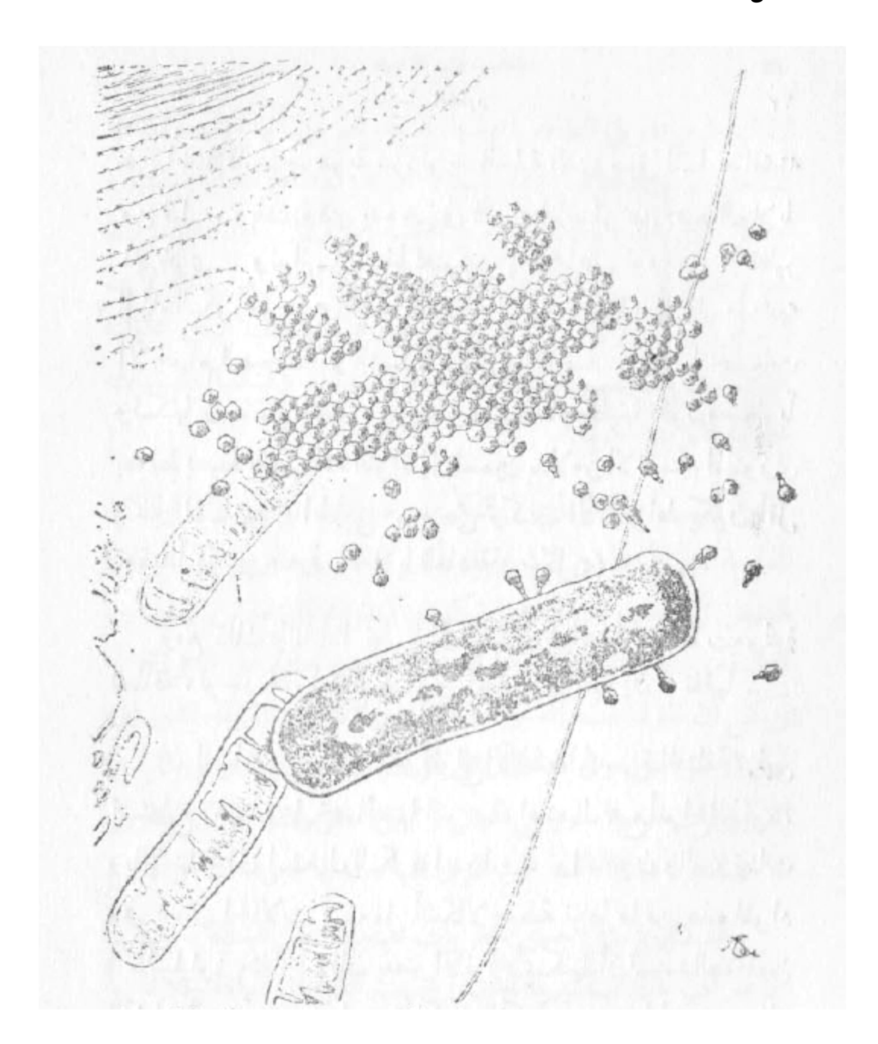
وهي تحمل وتنقل معلومات وراثية بطرق لا تختلف اختلافاً كلياً عن طريق النباتات والحيوانات الراقية.

والبكتيريا مثل أحسن لحفريات حية لما قبل الخلية، ويجب الاعتراف بأن البكتيريا، تعتبر حسب القواعد العامة خلايا. ولكن إذا فحصت عن قرب، إما بواسطة المجهر الضوئي، أو أفضل من ذلك، بواسطة مجهر الكتروني فإنه يمكن الكشف عن اختلافات جوهرية عن نوع الخلية الذي سبق لنا مناقشته من قبل. وبادئ ذي بدء هي في مجموعها أصغر من جميع الخلايا الأخرى. ونواتها، بينما تحتوي على أحماض نووية، لا تظهر البناء الكروموسومي المميز للخلايا الراقية. وينقصها كل ما يشبه الأجسام السبحية أو الشبكة الأندوبلازمية. ولها جسيمات ولكنها في منتهى الصغر. ويبدو أن انقسام خليتها يكون مصحوباً بضغط بسيط يقسم مادة النواة إلى قسمين بدلاً من الانقسام الميتوزي (غير المباشر) الحقيقي. وحتى تركيب الأسواط يكون أقل تعقيداً بكثير عنه في الخلايا العادية (شكل ٢).

ومع ذلك فإننا إذا نظرنا إلى البكتيريا باعتبارها آلات مولدة للطاقة، لوجدنا أنها تبلغ مستوى الخلايا الراقية إن لم تفقها.

إن لديها مجموعة كبيرة من أنواع الأغذية المتيسرة المختلفة، فهي تستطيع معتمدة على خصائصها النوعية، استعمال جميع أنواع الوقود. وبالإضافة إلى استعمال الكربوايدرات، والدهون والبروتينات وفي بعض الحالات تستعمل اشكالاً صعبة نوعاً ما من هذه المواد (كالسليلوز مثلاً)، فإن بعض الأنواع يمكنها أن تستمد الطاقة من التمثيل الضوئي وبعضها من تأكسد الكبريت، والحديد، وغاز الميثان. حتى إن بعضها يستعمل الأيدروجين الجزيئي ويؤكسده إلى ماء. وبما أن المشكلة الأولى في التطور هي إبداع نظام ذي كفاءة عالية

للاستفادة من الطاقة، فيمكننا أن نقول إن البكتيريا قد أنشأت طرقاً ناجحة لهذا العمل.



شكل ٢– رسم مبني على إلكترون ميكروجرافي لبكتيريا عضوية الشكل في الوسط وأنواع أخرى لجسيمات فيروسية في أعلى وتظهر خلية عادية في الخلف لتعطي فكرة لنسبة الأحجام. ويلاحظ أن البكتيريا هي قطاع رقيق مستحضر وتستطيع رؤية بداية الانقسام الذي يدل عليها بواسطة انبعاج جدار الخلية. وكذلك ترى العقد "النووية" بوضوح في وسط البكتيريا.

وبخصوص أجهزتها الأنزيمية، فهي تتشابه كثيراً مع الخلايا العادية. ومن أكثر الأشياء إثارة للاهتمام والتي اكتشفت حديثاً أن كثيراً من التفاعلات الأنزيمية التي تظهر عادة على سطح الأجسام السبحية تحدث في البكتيريا على غشاء الخلية. وهناك فرض قديم لم يحظ بتقدير ما، هو أن الأجسام السبحية ما هي إلا بكتيريا أصبحت طفيليات دائمة في سيتوبلازم خلايا كبيرة. وقد أيدت دراسات كيميائية ودراسات المجهر الالكتروني عدم صحة هذا الفرض، ولكن أقترح الآن احتمال جديد، أن الأجسام السبحية متكافئة في وظيفتها مع السطح البكتيري. وإذا كانت البكتيريا هي طلائع خلايا حقيقية، فيجب حينئذ أن تكون الأجسام السبحية المنثنية مستمدة من سطح الخلية القديم، كما لو كانت أجزاء من السطح مجهزة ببطاريات خاصة من الأنزيمات أصبحت منفصلة وأمكنها التجول بحرية داخل الخلية. والخلايا الحقيقية أكبر، ومن المعقول أن الزيادة في الحجم تقتضي وجود سطح أنزيمي أوسع. والخطوة الأولى في هذه الزيادة هي حدوث طيات محلية في سطح البكتيريا ثم انفصالها للداخل. وإذا كان هذا الفرض صحيحاً، فإنه يعني أنه في هذه الخطوة التطورية يوجد توزيع للعمل وزيادة في تعقيد الأجزاء لمواجهة احتياجات زيادة الحجم.

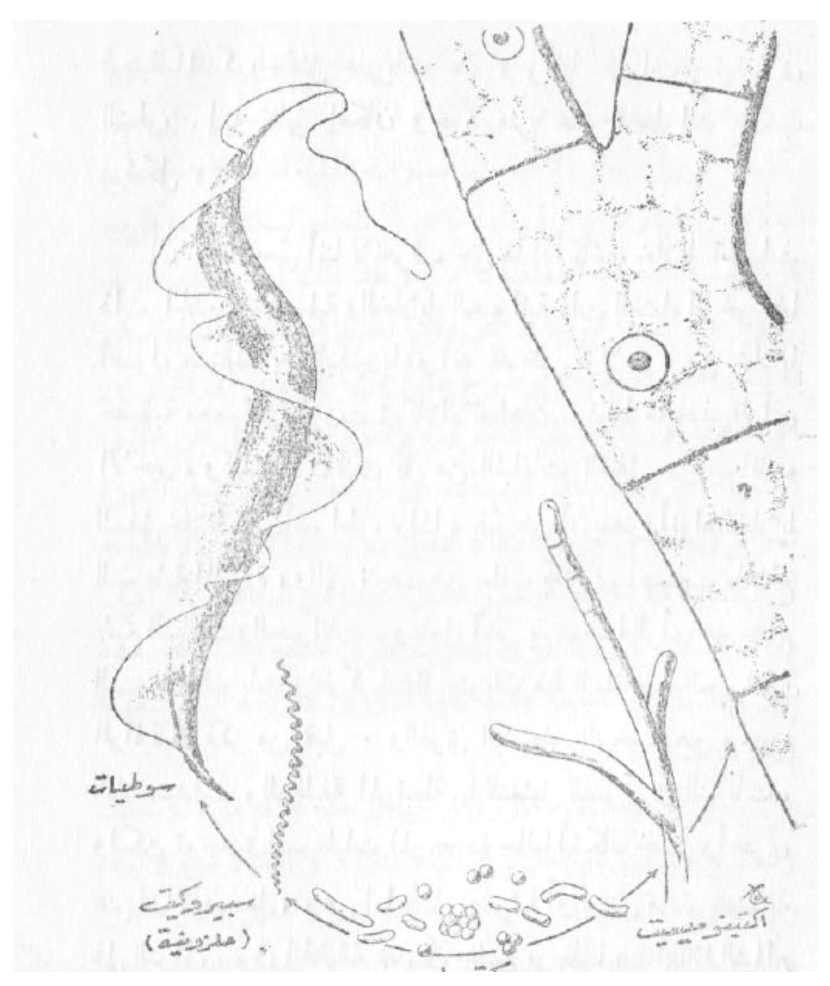
وتوجد دلالة أخرى على بدائية طبيعية في توارث البكتيريا. وباختصار، يوجد نوعان من الآلية الجنسية، ويعتبر كل منهما كشفاً كبيراً في علم الأحياء في السنوات القليلة الماضية. فقدر أي أولاً "ج. ليدربرج، وإ. ل. تاتم" أن لبعض البكتيريا ما يقرب من الجنسية التناسلية الحقيقية. ثم رأى بعد ذلك "ن. زندر، و ج. ليدربرج" أن لها طريقة أكثر بدائية لخلط الصفات، حيث يمكن لخلية واحدة أن تساهم بوضوح بقليل من الجينات، أي قليل من الوحدات الوراثية، إلى الأخرى، وتقوم بهذا العمل عن طريق استخدام فيروس كناقل للجينات. وإذا

أخذنا في الاعتبار أجهزة تحويل الطاقة وأجهزة انتقال التغيرات، فإننا نخرج بالانطباعية أن البكتيريا لها اختيار أوسع وانتشار أعظم من الكائنات الراقية. فكأن البكتيريا كانت تجري تجارب بطرق مختلفة وأن بعض هذه الطرق فقط كان ناجحاً نجاحاً كافياً أدى إلى الطريقة التي تتبعها الأنواع الخلوية الراقية.

ومن وجهة النظر المورفولوجية يوجد عدد من الأشكال وسط بين البكتيريا والخلايا الراقية. فمثلاً، توجد الاسبيروكيت (الحلزونية) الكبيرة، وهي وسط في الحجم والمظهر بين البكتيريا والبروتوزوا السوطية، ومثل آخر هو الاكتينوميسيت الذي يبدو وسطاً بين البكتيريا والفطر الخيطي، مثل عفن الخبز، ولا توجد أيضاً طريقة معقولة لمعرفة ما إذا كانت هذه الأشكال البينية المذكورة تمثل حفريات حية، وأنها خطوات حقيقية في التطور. إنها تظهر إمكان وجود مثل هذه الخطوات فحسب (شكل ٣).

إن هذا يعني أننا لا نعرف حتى ما إذا كانت خلايا النبات ذات الجدران الصلبة والخلايا الحيوانية ذات الغشاء الرخو لها أصول مستقلة بين البكتيريا أو أنه قد ظهر أولاً نوع من خلايا حقيقية معممة وتطورت في كلا الاتجاهين. وغالباً ما يحبذ الرأي الأخير، وذلك لأن لدى كل من النباتات السفلي الحيوانات السفلي خلايا ذات أسواط، وإذا، يفترض أن بعض أنواع الخلايا السوطية المفردة، والتي نتجت من سلف بكتيري أصبحت طلائع لجميع النباتات والحيوانات. وعامل آخر يدعم هذا الرأي هو عظم الشبه بين النويات والتركيبات السيتوبلازمية للنباتات والحيوانات الراقية كما ذكر من قبل. والفرق البسيط الوحيد هو وجود البلاستيدات والوظيفة المرتبطة بها للتمثيل الضوئي في النباتات، ولكن توجد في السوطيات الموجودة حالياً أشكال خضر وأخرى عديمة اللون معاً، وهي إما تمثل ضوئياً أو تمتص مادة عضوية على التوالي، وفي

الحقيقة نجد في جنس يوجلينا **Englena** الشائع الشكلين معاً. ولما كان التمثيل الضوئي موجوداً في البكتيريا، فإنه يمكن أن نفترض أنه نشأ منها وأنه استمر في السوطيات الأولية وعلى ذلك فالأشكال عديمة اللون هي التي فقدت القدرة على أسر طاقة الشمس.



شكل ٣– أشكال سفلي متعددة ربما تكون لها علاقة بالبكتيريا. كل واحدة مرسومة على مقياس لتظهر نسبة أحجامها.

ولعل من المفيد أن نكرر القول هنا بأن الخطوة الرئيسية لبدء الحياة كانت الوصول على نظام لاقتناص الطاقة. والافتراض العام هو أن ضوء الشمس كان موجوداً على سطح الأرض قبل الوقود العضوي مثل الكربوايدرات والأحماض الأمينية. ولذلك يعتبر التخليق (التمثيل) الضوئي نظاماً أكثر بدائية عن نظام تمثيل المغذيات العضوية. وبالرغم من الجدل الكثير، فالأمر غير واضح تماماً. ففي المقام الأول لا تستعمل البكتيريا الشمس فقط، ولكن كما ذكرنا من قبل يمن لها أن تستمد الطاقة من أكسدة المواد الكيميائية البسيطة (التخليق الكيميائي). ولقد أوضح حديثاً "س. ل. ميلر، هـ. س يوري" أنه باستطاعتهما تخليق بعض الأحماض الأمينية، وذلك بإعادة بعض ظروف للغلاف الجوي المفروض وجودها على الأرض في عصر مبكر جداً، وبتمرير شرارات كهربائية خلال هذا المزيج من الغاز الجوي لإحداث ما يشبه العواصف الكهربائية. لذلك فإن الفكرة القائلة بأن المواد العضوية الموجودة حالياً في الكائنات الحية توجد قبل مجيء الحياة، ربما تكون صحيحة، وفي أيامنا هذه، مع الكتل الهائلة من الحيوانات والنباتات على سطح الأرض، فإن توازن الطاقة يستند كلية على التخليق الضوئي للنباتات وإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون (وهو ضروري للتخليق الضوئي) بواسطة الحيوانات. وإذا لم تتنفس النباتات الطاقة الشمسية فسرعان ما تجوع جميع الآهلات الحيوانية. وقد نمت المجاميع الكبيرة المتوازنة من الآهلات بعد ملايين من السنين، وكان في البداية سجل ميزان الطاقة على غير هدى بدون شك. وتوازن الطاقة بين النبات والحيوان هو الخطوة الرئيسية في حد ذاتها في التطور، التي سمحت بالتقدم البعيد المدى لكلتا المجموعتين، ويمكن أن نفترض أن هذا الميزان قد أسس أولاً حين نشأت الخلايا.

وإذا تأملنا في كيفية تطور بعض الكائنات وحيدة الخلية كالسوطيات

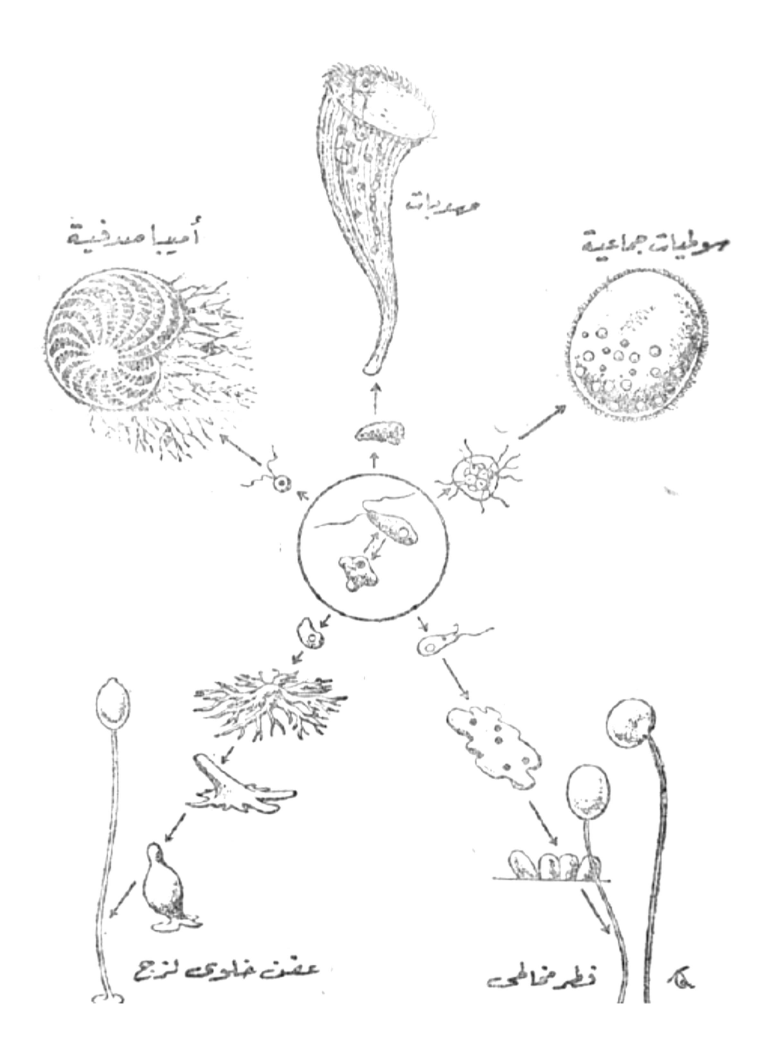
الخضراء الشبيهة باليوجلينا، وأصبحت أشكالاً عديدة الخلايا في هذا المجال الواسع لتطور الحياة، فسنجد أننا مقيدون مرة أخرى بعدم وجود أي سجل حفري. وهذه الخطوة العظيمة نحو الأمام حدثت بدون شك في بيئة مائية، ولذلك لأن الغالبية العظمى للأشكال وحيدة الخلية بالإضافة للأشكال الأولية عديدة الخلايا كانت جميعها أشكالاً مائية، ولم يوجد من الأنواع الأرضية سوى قلة غاية في التخصص، ولكن لم تحتفظ رواسب البحار الأولية بأي دليل، اللهم إلا الأشكال ذات الأصداف الصلبة. وواضح أن هذه الأشكال ليست من الخطوات الرئيسية نحو تعدد الخلايا ولكنها أفرع جانبية. وأمثلة ذلك هو الفورامينيفرا (الثقبيات) الجيرية والراديولاريا (المتشععات) السيليسية، التي أدت أصدافها الجميلة، خلال ملايين السنين من الترسيب، إلى تكوين الصخر. والشيء المدهش هنا هو إلى أي مدى رسخت هذه الأشكال وظنت كما هي لهذا الوقت الطويل. والفورامينيفرا الحية، وكذلك الرادبولاريا الموجودة في أيامنا هذه متشابهة في جوهرها تماماً مع تلك التي كانت في البحار القديمة وكلها مجموعات غير تقدمية في المشهد التطوري، ولكن ربما تسمى بما يدعى بالنهايات الميتة الناجحة، نهايات ميتة، لأنها لم تتغير بشكل ملحوظ، وناجحة، لأنها استطاعت مواصلة البقاء خلال العصور.

ولماذا صارت كائنات وحيدة الخلية متعددة الخلايا؟ وإذا كان النظام الأحادي لخلية ذا ميزات مفيدة دائماً في بعض المجموعات، فلماذا إذن لم تحتفظ به جميع الأشكال؟ والجواب ربما يدور حول موضوع زيادة الحجم. ويمكن للكائنات الكبيرة أن تقوم بعمل أشياء لا تستطيع الكائنات الأصغر القيام بها، فهي تعيش بطرق مختلفة، وحين تزداد حجماً يتفتح لها عالم جديد مليء بالفرص الجديدة. ويمكن إدخال طرق جديدة لتناول الطعام، وإمكانيات جديدة

للحركة، وبيئات فيزيقية جديدة يمكن الاستيطان بها، وكثير من مستحدثات كثيرة أخرى. والخطوة التي سنختبرها الآن، مملوءة بنفس الآمال البراقة والتي وجدت أمام الكائنات المتقدمة حين اكتشفت الأرض، وقد ظهرت في ذلك الوقت عدة طرق ممكنة للمعيشة لم تكن موجودة من قبل.

وليس عجباً إذا أننا نجد بين الكائنات الحية البدائية، متعددة الخلايا تشكيلة عظيمة لمحاولات مختلفة، ولابد أنها كانت متفرقة، لزيادة الحجم. والمشاكل الميكانيكية لزيادة الحجم جسيمة جداً، وذلك لأن الكائن لابد وأن يظل قادراً لتحويل الطاقة ويتكاثر ويتجاوب لبيئته؛ وقد أجريت تجارب عديدة مستقلة للتغلب على هذه المشاكل (شكل ٤).

ولنأخذ في الاعتبار أولاً بعض أمثلة لتلك المحاولات في تعددية الخلايا التي عملت بمدى محدود، ولكنها لم تعط أي تسلسل تطوري عظيم. وكل من هذه الأمثلة ناجح بمعنى أن الكائنات تحتفظ بالحياة، ولكنها فاشلة فيما يخص التقدم.



شكل ٤– بعض الطرق المختلفة للوصول إلى تعددية الخلايا. الدائرة المركزية تبين العلاقة القريبة بين سوطيات وأميبا، ربما يكون لكليهما أو لأحدهما أسلاف أحادية الخلية لأنواع الكائنات المحيطة.

والبروتوزوا الهدبية، والتي عرف منها البراميسيوم معرفة جيدة، هي إحدى المحاولات، على الرغم من أن الطريقة المستعملة لم تسمح إلا بزيادة طفيفة في الحجم. في هذه الحالة زاد حجم السيتوبلازم. ولكن للتوازن مع انتفاخ السيتوبلازم، ازداد حجم النواة كذلك حتى إنه بدلاً من أن تكون عندها

مجموعة واحدة من الكروموسومات نجد أن نواة البراميسيوم الكبيرة تحوي حوالي مائتي مجموعة. ويبدو أن هذا لا يتعارض مع النشاط الكيميائي داخل الخلية، ولو أن حد هذه الزيادة ليس بالبعيد، ويمكن أن نفترض أن السبب في عدم وجود البراميسيوم في حجم الأسماك هو أن نواة مفردة في كتلة مفردة من سيتوبلازم بهذا الحجم لابد وأن تصاب بخلل في آلتها. وسيكون من الصعب للمواد أن تنتشر عبر مسافات كبيرة لتحتفظ بسير الآلة. وسيكون من غير المستطاع أن تتحقق أي قوة تماسكية في كتلة رخوة من البروتوبلازم كهذه، إلى غير ذلك من الصعاب الكثيرة الأخرى.

تزودنا بعض أنواع أخرى من الكائنات البدائية، ومنها العفن اللزج أو الفطر المخاطي بمثل جيد، إذ حاولت هي الأخرى الاحتفاظ بجميع البروتوبلازم داخل غشاء واحد مكونة نوعاً من خلية ضخمة. ولكن في هذه الحالة نجد أنه يوجد بدلاً من نواة ضخمة نيات عديدة تتجول بحرية هنا وهناك في كيس سيتوبلازمي كبير جداً. والنتيجة هي أنه لا توجد مشاكل للنواة على الأقل ناتجة من زيادة الحجم، إذ أنها تعمل طبيعياً وتنقل المواد للأمام وللخلف مع السيتوبلازم المحيط كما كان من قبل.

وكنتيجة لذلك فربما يصل هذا العفن اللزج إلى حجم أكبر من الهدبيات، وربما تصنع كتلة كبيرة من سيتوبلازم متعددة النويات مقدار ملعقة مائدة متكدسة غير أنها في العادة تنتشر في طبقة رفيعة على الفروع الميتة، وكذلك عفن الورق حيث تبتلع البكتيريا وتمتص المادة العضوية. إن انتشارها في طبقة رقيقة يؤكد حدود إمكانياتها الخاصة بتطورها مستقبلاً وبزيادة حجمها كذلك، وهي ليست بحدود أيضية، كما هي الحال في الهدبيات، ولكنها في هذه الحالة صعوبات دعامية تماماً، وتحتاج ملء ملعقة ماء من البروتوبلازم إلى ما يسندها

من العظم وإلا فإنها تتفلطح سطحياً على الأرض. ومن واقع الأمر فإنها حين تنتج في النهاية أبواغاً أو بذرة للجيل التالي، فتنقسم إلى وحدات صغيرة جداً من السيتوبلازم تبلغ حوالي الملليمتر الواحد المكعب في الحجم. وكل واحدة من هذه (في بعض الأنواع) ترسي جذعاً صغيراً، يرفع البروتوبلازم الصغيرة مليمتراً واحداً أو ما شابه ذلك في الهواء. ولا يمكن توفير الدعامة إلا بعد انفصال البروتوبلازم إلى وحدات صغيرة.

وأنجح الطرق لزيادة الحجم هي وجود سلسلة من الخلايا ملتصقة سوياً في كائن حقيقي متعدد الخلايا. وحتى هذا يمكن عمله بطرق عدة: يمكن للخلايا أن تنقسم وتفشل المنتجات البنوية في الانفصال؛ أو أن يكون هناك تجمع لخلايا منفصلة. والطريقة الأولى وحدها هي التي أمكن بوساطتها ظهور حيوانات ونباتات راقية بينما توجد الطريقة الثانية، مثلاً، في مجموعة غريبة من كائنات تسمى العفن الخلوي اللزج. وتنمو هنا أولاً خلايا متشابهة لخلايا الأميبا، وهذه تتجمع داخل كتلة من الخلايا وذلك بعد الانتهاء من الاغتذاء. وتجري كتلة الخلايا هذه سلسلة من التغيرات تؤدي في النهاية إلى أن تصنع بعض الخلايا جذعاً دعامياً وتتحول الخلايا المتبقية إلى أبواغ ترتفع في الهواء عند نهاية الجذع. ولكن قصور هذه الأبواغ واضح، ليس فقط في حجمها الصغير (وهي لن تمتد أكثر من سنتيمتر واحد في الارتفاع، وهي غاية في النحالة) ولكن يلزم أيضاً أن تحصل على طاقتها كخلايا مفردة. وهذا يعني أنها لا تتمكن أن تصبح متعددة الخلايا إلا بعد تناولها الغذاء، ولم تكن على درجة من التوفيق في الحصول على طريقة للأكل بما فيه الكفاية وهي في حالة تعدد الخلايا، ولهذا السبب وحده يكون طريق تطورها مسدوداً. والأشكال عديدة الخلايا التي تنشأ بواسطة التصاق الخلايا البنوية بعضها ببعض عليها أن تأكل أثناء نموها لتوفر الطاقة

اللازمة للتخليق، وبحلها هذه المشكلة يمكن لها أن تنجز بنجاح تقدماً تطورياً عظيماً.

ولا تجد الخلايا الخضراء التي أصبحت متعددة الخلايا أي صعوبة على الإطلاق في استمرار اغتذائها أثناء النمو، لأنها طبعاً، تحتاج فقط لوضع الكلوروفيل حيث يمكن للشمس أن تصل إليه وتتم بحضور بعض من ثاني أكسيد الكربون. ويبدو أنها لكي تكون ملائمة بطريقة نموذجية لتعدد الخلايا، وخلايا النبات عديمة اللون التي ينقصها جهاز التخليق الضوئي، مثل الفطر الخيطي، يجب أن تكون بجوار مستودع غني بمواد غذائية مذابة تتشربها من خلال جدران وأغشية خلاياها. وخلايا الحيوان التي تتغذى على جسيمات تعترضها خطوة تطورية أكثر صعوبة، فلكي تحصل كتلة من الخلايا على غذاء بطريقة فعالة، يجب أن يكون لديها نوع ما من عملية تصنيفية غذائية مشتركة أو جهاز معوي. وقد تغلب الإسفنج على ذلك بوجود جهاز قنوي متقن يتحرك خلاله الماء بوساطة حركة سوطية، ويمكن للخلايا المطوقة المنفردة والتي تبطن القنوات تناول جسيمات الغذاء من الماء. وفي الجوف معويات، كالهيدرا، نجد أن لديها بدايات لجهاز معوي حقيقي، به فم وأنزيمات هضمية تصب في الفراغ المعوي. ولكن هذه الحلول لمشكلة اغتذاء الحيوان كما نراها في الإسفنج والجوف معويات هي بكل تأكيد أكثر تعقيداً من حل التخليق الضوئي. وحقاً، كما أبرز ج. ر. بيكر (الذي ابتدأ هذا الجدل) فإن هذا يعطي تفسيراً بسيطاً لوجود أشكال مختلفة كثيرة لنباتات بدائية متعددة الخلايا، ووجود عدد قليل للغاية لحيوانات بدائية متعددة الخلايا.

وإذا تمشينا مع الفرض المعقول، ولكن غير المدعم كلية، بأن السوطيات هي سلف لجميع الأشكال متعددة الخلايا، فإننا نلاحظ وجود عدد من

المحاولات انتهت بطريق مسدود (ولقد نوقش هنا قليل منها فقط) بينما اتضح أن هناك حالتين ناجحتين وهما: الحالة الواحدة التي تؤدي إلى النباتات الراقية وتلك التي تؤدي إلى الحيوانات الراقية. ونحن، بالطبع، نفترض دائماً أن المحاولات غير الناجحة في يومنا الحاضر هي إما حفريات حية أو أنواع متوازية لكائنات عاشت في فترة مبكرة من تاريخ الأرض. والفكرة هي أن السوطيات وحيدة الخلية اتبعت طرقاً مختلفة، فعلى حين كانت كل منها مثيرة للاهتمام بل مستقرة لحد ما، لم يستطع سوى اثنين منها التقدم للأمام، وهذان الاثنان هما اللذان كان يظن من قبل أنهما جاءا بطريق المصادفة، لأنه لا النباتات وحدها ولا الحيوانات تستطيع أن تزدهر بالطريقة القائمة الآن، إذا قدر لإحداهما أن توجد بدون الأخرى، وخلال تبادل المواد العضوية التي تستمد بواسطة النباتات، وكذلك ثاني أكسيد الكربون الذي يستمد عن طريق الحيوانات، يستطيع هذان العالمان العظيمان من الكائنات أن يزود أحدهما الآخر. وإذا انمحت جميع النباتات في العالم بأسره في يوم واحد، ماتت جميع الحيوانات في الأيام القليلة التالية، ما عدا أكلة اللحوم والجيفة، إذ تبقى لها وليمة واحدة أخيرة.

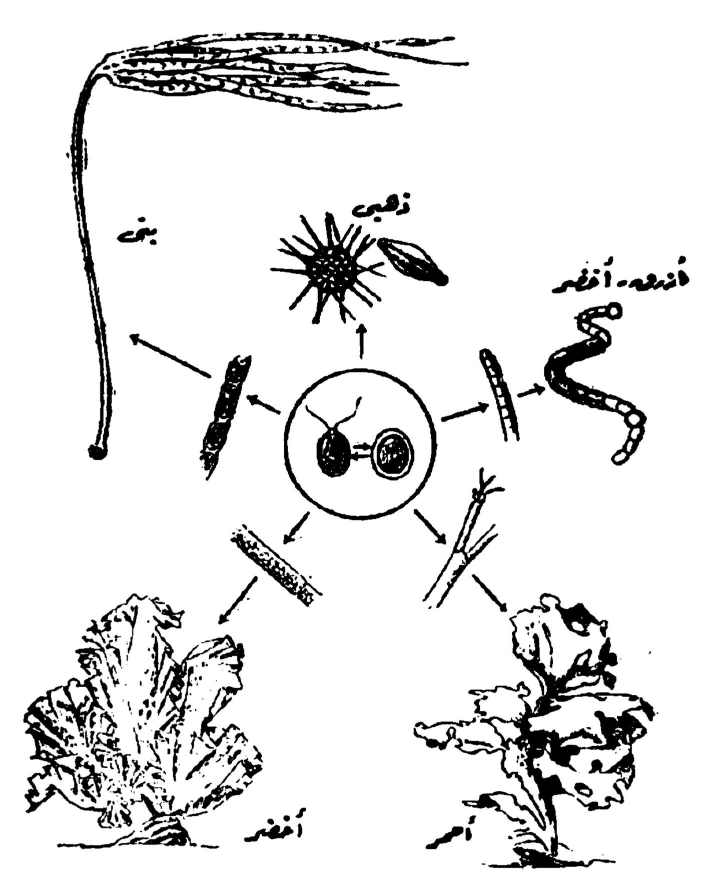
وقد تركت النباتات السفلى، مع بعض الاستثناءات التي تحدث من وقت إلى آخر، سجلاً حفرياً ناقصاً جداً، وليس لدينا سوى الأشكال الحية لتزودنا بالأدلة، حتى نستطيع حل لغز الماضي. وهذا صعب بصفة خاصة، لأن كل مجموعة من النباتات السفلى مختلفة بطريقة ملحوظة لدرجة أنه من الصعب، ومن الخطر، في الحقيقة أن نحاول وضع أي تتابع تطوري محدد. ولذلك، فقد يكون أكثر فائدة، وخيراً من أن نعلق أهمية على سلسلة النسب، أن نهتم بالأشكال المتعددة ومواطنها، لنظهر كيف أن النباتات السفلى انتهزت فرصة

البيئات المختلفة وغزت عوالم جديدة.

وتحتوي الطحالب على مجموعة كبيرة جداً غير متجانسة، وتشتمل على كثير من أشكال وحيدة الخلية (مثل الدياتومات) وعدد من الأشكال عديدة الخلايا التي تنتمي إليها. وتتراوح هذه ما بين خيوط مفردة، مثل الاسبيروجيرا وأعشاب البحر الضخمة، مثل الكلب العملاق. (وكان من المعتاد أن يقال إن هذه كانت أكبر النباتات، والتقارير عن أطوالها تراوحت من حوالي ١٨٠ متراً إلى ٤٥٠ متراً. ولحقيقة الأمر فالرقم هو ٤١٥ متراً ليس إلا، ومع ذلك فهذا النبات ليس صغيراً). وتصنف الطحالب إلى متسلسلة من المجموعات اعتماداً على لونها، وأخضابها وتوجد طحالب زرقاء مخضرة، وخضراء، وذهبية، وبنية، وحمراء. ولهذه التجمعات معنى غزير، ففي الحقيقة تنتمي كل مجموعة من بعيد فقط إذا كان هناك علاقة بينها وبين غيرها. وتقع أكثر علاقة محتملة بين الطحالب الأولية ذات اللون الأزرق المخضر (والتي منها الأوسكيلا توريا مثلاً) والطحالب الحمراء المعقدة والمتقنة، لأن لكليهما أخضاباً متشابهة، ولأن الاثنين تنقصهما إحدى المراحل المتحركة من أطوار تاريخ حياتهما (شكل ٥).

وتزودنا الطحالب البنية، ومعظمها بحرية، بالأشكال الضخمة ومع أن هذه المجموعة بدون شك كلائع النباتات الراقية، غير أنه لا يمكن أن تعتبر طريقاً تطورياً مسدوداً لأنه على الرغم من حدد إمكانياتها النهائية، فقد انتقلت خطوات واسعة عظيمة للأمام، وقد استطاعت– بالطبع – أن تحقق زيادة كبيرة في الحجم لأنها ظلت مائية، ولا تحتاج لأي جهاز دعامي متخصص (وشكل الكلب الأكبر يشبه خرطوم الحديقة تقريباً). ولكن الحجم في حد ذاته يخلق مشكلة أخرى تم التغلب عليها بطريقة فعالة. ففي المقام الأول يتطلب حجمها نظاماً كفؤاً لتلقي أشعة الشمس من أجل (التخليق) التمثيل الضوئي، وثانياً

لنقل منتجات هذا التخليق لجميع الأجزاء، ويوجد في الكلب نصل كبير مفلطح يشبه ورقة كبيرة الحجم تطفو على مقربة من سطح البحر حيث يمكن للشمس أن تصل إليها بسهولة. وهذه مثبتة بالقاع بساق طويلة أو شبه ساق، وفي هذه الساق خلايا خاصة مثقوبة عند الأطراف لتشكل نوعاً من جهاز أنبوبي مبدئي يمكن للمواد أن تمر من جزء من النبات إلى آخر فيه.



شكل ٥– تشكيلة من طرق مختلفة لتعددية الخلايا بين الطحالب. وتظهر الدائرة المركزية مرحلتين مختلفتين لطحلب وحيد الخلية. ومن المحتمل أن تكون هذه هي السلف لمستعمرات سوطية، وأشكال خيطية بسيطة، والطحالب البحرية الكبرى.

وتشمل الطحالب الخضراء عدداً من اتجاهات تطورية مختلفة مثل الفولفكس والاسبيروجيرا، وأمثلة أخرى عديدة كلها أمثلة جيدة لطرق مسدودة في محاولات تعددية الخلايا، كما تشمل الاتجاه الرئيسي الذي يؤدي إلى النباتات الراقية. وهذا الاتجاه الناجح هو خيطي حيث نجد متسلسلة جميلة من تركيبات من خيوط تزداد في التعقيد لتنتج نباتاً يزداد تضخماً في الحجم.

وكلما ازداد الحجم تحور الخيط إلى خلايا مستطيلة أو خلايا مقطوشة تشبه قوالب الطوب في مظهرها ووظيفتها، وكذلك كلما ازداد الحجم تصبح قوة النمو غير مستطاعة في جميع الأجزاء، ولكن تظل الأجزاء القديمة جامدة بينما تتمدد الأجزاء الجديدة. وتوجد مناطق النمو هذه أو المرستيمات كما تسمى، بجانب تحور الخيط، في الطحالب البنية، ولكنها تحرز تقدماً أكثر في الأشكال الخضراء وتعطي النباتات الراقية.

وأنواع البيئات التي انتشرت فيها الطحالب كانت كلها مائية تقريباً. وهي توجد في الماء العذب وفي البحر، وكثرتها فائقة لدرجة أن تسعين في المائة من جميع التخليق الضوئي في العالم يتم بواسطة الطحالب. وتوجد بعض الأنواع في الينابيع الحارة وتعيش في درجة حرارة ٨٥°م، بينما توجد أنواع أخرى هي النبت الوحيد في مناطق القطب الشمالي والقطب الجنوبي، حيث يحتمل وجود ذوبان متعاقب. ومع أنها تشغل في البحر السطح على وجه العموم ومناطق المد والجزر حيث يكون ضوء الشمس قوياً، يمكنها كذلك المعيشة على أعماق كبيرة. وفي الحقيقة يظن أن خضب الطحالب الحمر يتلاءم بطريقة خاصة لمثل هذا العمق الكبير، وتوجد حتى على عمق ١٨٠ متراً. وهناك حالات قليلة متفرقة لطحالب توجد ككائنات أرضية، ولكن تلك الحالات هي تكيفات غريبة لأشكال صغيرة غالباً ما تكون وحيدة الخلية. ويوجد، مثلاً، البروتوكوكوس، وهو

الزغب الأخضر الذي يرشد صبيان الكشافة إلى الجانب الشمالي لشجرة ما، ويوجد الثلج الأحمر، وهو طحلب صغير ينمو على سطح الثلج القديم، ومثل أخير هو الطحلب الغريب الذي يعيش في شعر حيوان الكسلان ذي الأصابع الثلاث. وتعتبر الطحالب أنفسها، مجموعة، لم تنجح في الملائمة لمعيشة أرضية، ولكن الشيء المهم هو أنها من أسلاف الأشكال الأرضية الحقيقية التي هي النباتات الراقية.

كان غزو الأرض هو الحادث الرئيسي في تطور النباتات، وهنا كان أفضل مكان تحت الشمس للتخليق الضوئي حيث لا توجد منافسة من أشكال أخرى. فلقد كانت أرض الفرص. والحزازيات البسيطة وبخاصة بعض أنواعها، ظلت صغيرة للغاية ومقصورة على أماكن رطبة حيث مجابهة المشاكل، التي فرضت بموجب الوجود في الهواء، قد مست بحذر وذلك كخطوة أولى. وبحكم حجمها لم يكن الدعم مشكلة كبرى لها، كما أن الرطوبة العالية المحيطة بها قد حصنتها ضد الجفاف.

ولكن من أجل نجاح كامل، وغزو شامل، لزم توافر ما يأتي:

(١) جهاز ليمنع او يضبط فقد الماء، وهذا يتم بتشكيله في النهاية بالبشرة الشمعية غير النافذة وبالثغور الخاضعة للتحكم.

(٢) جهاز دعامي أي تشكيل الألياف في الحزمة الوعائية.

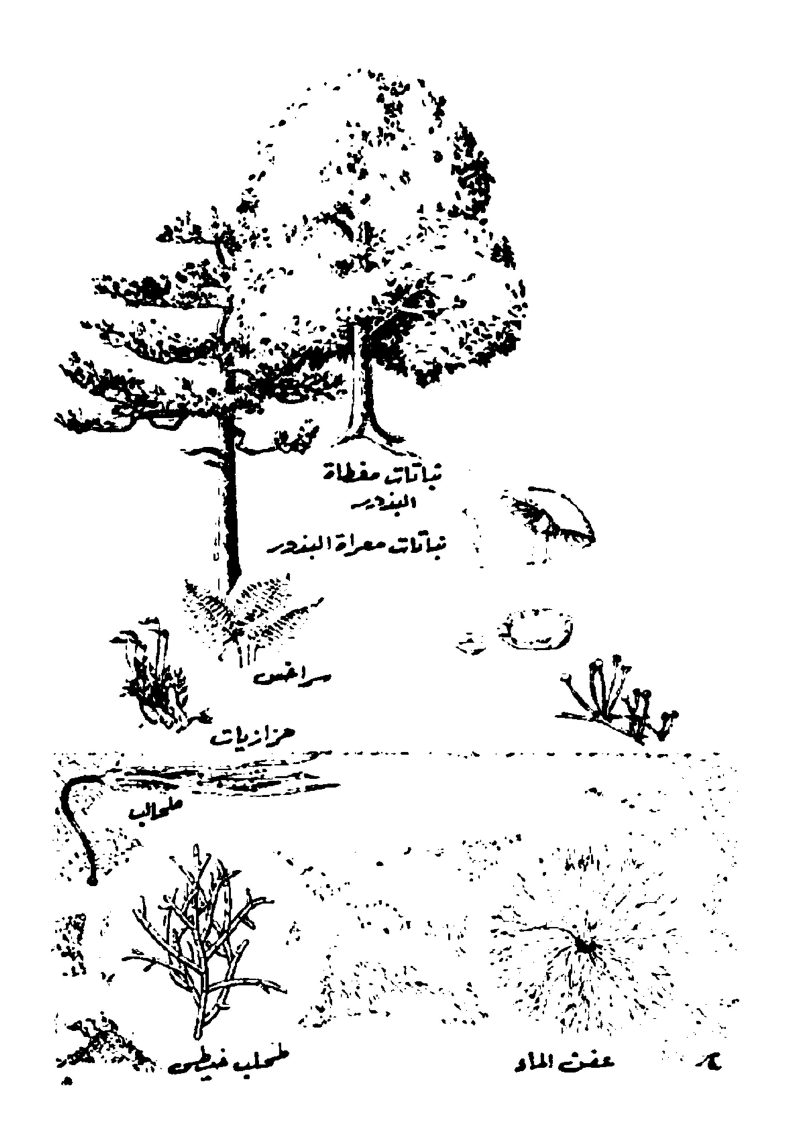
(٣) ماء وأملاح يمكن سحبهما معاً بواسطة جهاز جذري في الأرض.

(٤) جهاز فعال لاصطياد أشعة الشمس يوجد في كل من البناء الداخلي والخارجي للورقة.

(٥) جهاز توصيلي لنقل الماء والأملاح ومنتجات التخليق الضوئي الموجودة في

الجهاز الوعائي المتقن الذي يشتمل على الأنابيب في كل من الخشب الداخلي واللحاء الخارجي.

وبمجرد ظهور أول نباتات وعائية حقيقية على سطح الأرض، أمكن تكوين حفريات جيدة، ولذلك فنحن نعرف أن جميع هذه التخصصات التقدمية لملاءمة معيشة أرضية كانت مصحوبة باتجاه عام لزيادة في الحجم. والبروتوكوكوس نوع أرضي، ولكنه لا يجابه أياً من مشاكل نبات أرضي كبير. والحجم والمعيشة على الأرض خلقا الحاجة لهذه التغيرات الملائمة. وحتى أنموذج النمو للنباتات الراقية، مع مناطق نموها المنتظمة للغاية، مرتبط بهذين العاملين (شكل ٦).



شكل ٦– تطور النبات وغزو الأرض. وتوجد إلى اليسار المجموعات الرئيسية للنباتات الخضراء، وإلى اليمين الغزو المستقل للأرض بواسطة الفطريات.

وتتابع مجموعات النباتات الوعائية وبلوغها الذروة في تاريخ الأرض المبكر حقيقة مسلم بها ومعروفة جيداً. وباختصار وبدون إعطاء أي تفاصيل، يوجد اكتساح واضح من النباتات التريدية (السراخس وذيل الحصان)، إلى

الليكوبودات، إلى النباتات معراة البذور، فالنباتات مغطاة البذور. وقد سادت كل من هذه المجاميع المبكرة لفترة معروفة وملأت غابات الأرض. وقد حققت حجماً كبيراً وأظهرت كمالها بشتى الطرق. إذا لماذا نجحت مجموعة معينة كشكل سائد للنباتات؛ وما الذي أنتج التغير الجديد؛ وماذا تحويه النباتات مغطاة البذور، ولدرجة أقل النباتات معراة البذور، مما جعلها واسعة الانتشار في العالم اليوم؟

ويقع الواجب أولاً بدون شك في أنه بينما السراخس أو أي من المجموعات المبكرة الأخرى كانت فعالة في كفاحها مع ظروف بيئية خاصة، فإنها أدت إلى أشكال أشد منها مراساً في الكفاح. وفي المنافسة – والمنافسة بادية هنا – ربما تكسب التغيرات الصغيرة فوائد كبيرة للنضال من أجل البقاء.

وإذا نظرنا في طبيعة التغيرات التي حدثت في النباتات الوعائية فإننا نرى تحسنا بطيئا مستمرا في تركيب النباتات، فيصبح الجهاز الجذري أكثر فاعلية، ثم جهاز الدعم، والجهاز الناقل، وجهاز التخليق الضوئي؛ كل هذه تزداد في الكفاءة. وربما كان ضمن أفضل التحسينات الملحوظة ما تم في الجهاز التناسلي. ويحدث إخصاب السراخس في الطور المشيجي الرقيق الذي يشبه الطحلب (الجسم الثالوسي الأولي)، والذي يعتمد في نموه على بيئة رخوة مبللة؛ ولما كانت الخلية الذكرية متحركة، بقي هذا الطور من دورة الحياة مائياً. والسراخس البالغ فقط، الذي ينتج من الإخصاب، هو الذي يقوى على المعيشة في هواء جاف. وهذه الحقيقة تشرح بدون شك لماذا لا توجد السراخس في الصحراء. والحزازيات الصولجانية حسنت الأمور إلى حد ما وذلك بحفظ الطور المشيجي في غلاف بوغي حتى إنها لا تعتمد على الرطوبة للنمو، ولو أن الإخصاب هنا أيضاً لا يمكن أن يحدث بدون ماء. والنباتات معراة

البذور هي الأولى التي تحقق بنجاح ما يمكن تسميته بالإخصاب الجاف. وفي الجنكجو البدائي لا تزال الخلية الذكرية متحركة، ولكن لا يعتبر هذا إلا آثاراً من الماضي عديمة الفائدة. وفي المخروطيات تأخذ الخلية الذكرية شكل حبة لقاح ويمكن حملها بواسطة الريح. والطور المشيجي لا يترك النبات أبداً؛ إذ يكون محفوظاً بأمان داخل المخاريط حتى إنه لا يحتاج للماء الخارجي لأي من الخطوات التناسلية. ومثل هذا حقيقي، بدون شك، في النباتات مغطاة البذور حيث يكون لديها عديد من التهذيبات الأخرى لنقل حبة اللقاح إلى البيضة. وبجانب الاستفادة من الريح، فإن الاستفادة من الأزهار الزاهية الألوان، والتي يوجد بها الرحيق المعطر لتجذب الحشرات والطيور الحاملة لحبوب اللقاح لتظهر مقدار عظمة بعض النم الطبيعية، وكذلك متانة بعض الخطوات التطورية.

وبهذه الصفات وغيرها نجد أن النباتات الحديثة قد اكتسبت جوهرياً استقلالاً أعظم عن بيئتها؛ ويمكنها المعيشة في أماكن أكثر تنوعاً، وليس عليها مثلاً أن تعيش دائماً في مستنقعات. ونجد نباتات في الصحراء، وعلى الجبال العالية، وفي أقصى المناطق الشمالية والجنوبية الباردة. وهناك ارتداد للحياة المائية، إذ توجد بعض النباتات الراقية طافية على سطح الماء، مثل عشب البط، أو تحت سطح الماء، مثل الإلوديا وكثير غيرها. وتستطيع النباتات أن تنمو حتى على نباتات أخرى، ليست كطفيليات فقط، مثل الدابوق، ولكنها بكل بساطة تستعمل النبات الكبير كدعامة كما تفعل الأراشد (الأوركيدات) و "الحزازيات" الإسبانية. وتحدث تغيرات ثانوية في كل غزو لموطن جديد، فمثلاً، يوجد بين نباتات الصحراء سلسلة من نظم وطرق خاصة للاحتفاظ بالماء.

وإذا ألقينا نظرة أخيرة على المنظر الكامل لتطور النباتات، فإننا نجد أن هناك درسين مؤثرين في هذا الخاصة بالتغير المستمر. فأولاً يوجد ضغط دائم

للحصول على بيئات جديدة واستغلالها. وثانياً، متى تم الغزو، يحدث تنافس مستمر لإيجاد الشكل الأكثر كفاءة والأشد أثراً الذي يمكنه أن يسود هذه البيئة الخاصة. وبذلك تتتابع المجاميع الواحدة بعد الأخرى في الوصول إلى مركز السيادة. وبعد قليل حين نختبر ميكانيكية التطور، سيكون في استطاعتنا أن نقول الكثير بخصوص طبيعة هذه التغيرات التنافسية.

وقبل أن نترك النباتات وندخل في موضوع الحيوانات، يجب إضافة تذييل خاص بالفطريات. إن هذه الكائنات فرع جانبي للخط التطوري الرئيسي للنباتات مغطاة البذور، ولكن مع ذلك، فهي تظهر أثناء تقدمها بعض التوازي المثير للاهتمام مع النباتات الخضر. فمثلاً، أصبحت بعض الفطريات أرضية، وعلى الرغم من ضرورة وجود درجة عالية من الرطوبة عادة، يرتفع البعض في الهواء إلى مسافة معتدلة، مثل فطر عيش الغراب الكبير. في هذه الحالات توجد تكيفات نوعية مخصصة للمعيشة على الأرض مثل فقد الحركة في الخلايا التناسلية، وحدوث الإخصاب بالتقاء واندغام أطراف خيوط الأجناس المضادة. ويرى هذا بوضوح مدهش حين نقارن عفن الماء (الفطريات الطحلبية المائية) وعفن الخبز الأرضي (الفطريات الطحلبية الأرضية مثل الميوكور أو ريزوبوس) القريبي الصلة. والفطريات هي مجموعة كبيرة وناجحة للغاية غزت كثيراً من أركان بيئة جديدة غالباً ما تكون غير ميسورة لنباتات خضر، وذلك لعدم مناسبة طريقة تغذيتها. ولما كان الفطر لا يغتذى إلا على مواد مذابة فليس من الصعب أن يصبح كثير منه طفيليات.

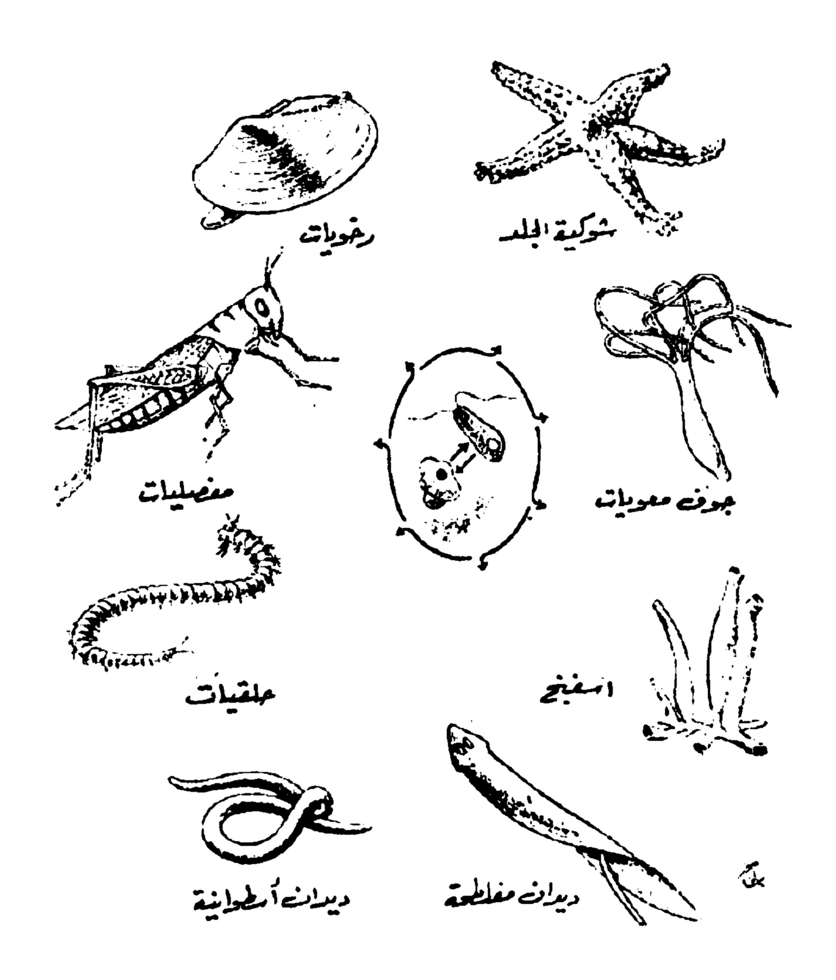
وإذا تحولنا الآن إلى العالم الحيواني، فستبهرنا أشكال ووظائف مختلفة اختلافاً كلياً للكائنات الحيوانية، ولو أن هناك تغيرات تطورية مدهشة تتوازى في تطورها مع ما يقابلها في النباتات. والسجل الحفري للأشكال الأكثر بدائية

ناقص جداً ومحير، وعلى ذلك فمقدرتنا على بناء تتابع تطوري حقيقي محدود جداً. (شكل ٧).

وقد أدى ذلك إلى كثرة المناقشة والجدل، وحتى اليوم يوجد كثير من وجهات النظر بخصوص الحيوانات عديدة الخلايا الأكثر بدائية، وتستند كل هذه الوجهات استناداً واهياً على أعمال تخمينية، آراء وتقاليد أو معارضة تقاليد.

وأحد الآراء التي تستمد منهجها الرئيسي من أعمال هادزي يحبذ فكرة الديدان المفلطحة عديمة الفراغ الهضمي من البرتوزوا المهدبة المعقدة مثل الباراميسيوم) وهذه الديان بدورها أدت إلى جميع الأشكال الراقية. والديدان المفلطحة غاية في البساطة في بنائها، ومغطاة بطبقة من الأهداب، وفي الداخل لا يوجد بها أغشية للخلايا إنما كتلة متعددة النوايا من البروتوبلازم فقط. والظن أن الأشكال الخلوية الراقية أتت إلى الوجود كنتيجة لتكوين حيزات محددة حول كل نواة وذلك في مرحلة متأخرة. وبالتأكيد توجد علاقة وثيقة بين هذه الديدان عديمة الفراغ والديدان المفلطحة الراقية كالبلاناريا.

والمعارضة المخلصة والتي يجب أن أعترف نحوها ببعض الميل) تعترض على ما سبق لأسباب عدة، وبخاصة أن لهذه الديدان المفلطحة عديمة الفراغ تكويناً جنينياً خلوياً معقداً يتضمن انقسامات منتظمة في الخلية، وتظهر فقط بحالتها غير الخلوية كلما اقتربت من النضج. وهذا لا يشبه أي شيء في المهدبات، ويشير إلى أن أسلاف الديدان عديمة الفراغ ربما كانت أشكالاً خلوية معقدة وأن الديدان عديمة الفراغ أشكال متدهورة.



شكل ٧– المجموعات الرئيسية للافقاريات عديدة الخلايا. ويرى في الوسط أسلاف الأميبا والسوطيات وحيدة الخلية. ولما كانت العلاقات بين المجموعات ما زالت غير مؤكدة ومشكوكاً فيها إلى حد كبير، ولما كانت بعض المجموعات نشأت بدون شك مستقلة فقد نظمت في دائرة مبهمة بدلاً من شجرة أنساب افتراضية.

والرأي الآخر هو أن البروتوزوا السوطية أنتجت مباشرة نوعاً يعيش في مستعمرة (ويوجد عدد من المستعمرات السوطية في الوقت الحاضر) أي في النهاية إلى ثلاث مجموعات: الإسفنج، والجوف معويات، وأخيراً الخط الرئيسي

الذي نشأت فيه مباشرة الديدان المفلطحة عديمة الفراغ. وهنا يظن أنه يوجد فرعان رئيسيان في شجرة التطور: يعطي أحدهما الديدان الراقية (ديدان أسطوانية وحلقية) والمفصليات (قشريات، وحشرات، وعناكب)، والرخويات (قواقع، محاريات، وغيرها من ذوات المصراعين، والحبار)، ويعطي الفرع الآخر شوكية الجلد (نجم البحر، قنفذ البحر، .... الخ)، والنصف حبليات بخاخ البحر)، وأخيراً الحبليات.

وسجل حفريات الحبليات ممتاز كما هو الحال في النباتات الراقية. وفي الإمكان الاستدلال على تتابع تطوري واضح بغير التوسع في التخمين. وفي تاريخ كل مجموعة، وغالباً بعد فترة قصيرة على بدايتها، يوجد عصر ازدهار حيث كان هناك ازدياد سريع في عدد الأنواع وعدد الأفراد معاً. والمجموعة الأولى هي الأسماك عديمة الفك، والتي ما زال يمثله في الوقت الحاضر بعض حفريات حية كاللامبري، ويأتي بعد ذلك البلاكودرمات، وهي أسماك مغطاة بصفائح مدرعة، وقد انقرضت تماماً، أما الأسماك الغضروفية (مثل سمك القرش، والأسماك العظمية فنشأت بعد ذلك. وقد ظلت كل من المجموعتين شائعة وناجحة حتى الوقت الحاضر. والبرمائيات الضفادع، وسمندل الماء، والسمندر.. الخ)، نشأت من الأسماك العظمية البدائية حيث أصبحت الزعانف متحورة إلى أطراف. وتمثل الأسماك فضية الزعانف أو شعاعية الزعانف شكل تحول بدائي، ولسنوات قليلة ماضية كان يظن أنها منقرضة ولكن كان موضع دهشة الجميع أن اصطيدت عينة من هذه الأسماك في شبكة على مقربة من شاطئ جنوب أفريقيا. ومنذ ذلك الحين وجدت عينات عديدة أخرى. ولسنا الآن في حاجة للاستدلال على تركيبها الداخلي من شكل عظامها الحفرية التي أصابها التفلطح (شكل ٨).



شكل ٨– تطور الحيوان وغزو الأرض والهواء. تتابع الفقاريات إلى اليسار، وقد أنجزت تكيفات بيئية مشابهة مستقلة بواسطة مجموعات متعددة من الفقاريات، كما يرى إلى اليمين.

والبرمائيات، كما يدل اسمها، اتخذت الخطوة الأولى نحو غزو الأرض. وقد

تفتحت لها جميع إمكانيات هذه البيئة الجديدة، وأكثر من ذلك فقد وفرت لها مهرباً من المنافسة القاسية في البحر المكتظ بالآهلات. وتعتمد البرمائيات، باستثناء حالات قليلة، على الماء في أطوار تناسلها. فالضفدع تضع بيضها في الماء، وأبو ذنيبة مائي تماماً يتنفس بالخياشيم. والخياشيم التي تستعمل كذلك بواسطة الأسماك هي تركيب رقيق يغمره الماء مباشرة. وإذا تعرضت للهواء، فسرعان ما يجف سطحها ولا تستطيع أن تؤدي وظائفها في أخذ الأوكسيجين مباشرة من الهواء بواسطة الضفدع البالغ. وعن طريق تجويف الرئة الداخلي، يبقى الهواء داخل الرئة مشبعاً ببخار الماء ويظل جدار الرئة الحي رقيقاً ويستطيع الدم بسهولة أن يلتقط الأوكسيجين. وفقد الماء خلال الجلد مشكلة أخرى على الأرض، وبعض البرمائيات يجب أن تظل بجوار الماء وتبقى مبللة. ولكن ينشأ في البعض جلد كتيم كما ينشأ السطح الشمعي في النباتات يمكن الضفدع القرني الكبير اليافع من المعيشة في الصحراء. وتختلف مشكلة الدعم بعض الشيء في الحيوانات عنها في النباتات، وذلك لأن الحيوانات ليست محتاجة للسنادة فقط، بل تتحتم عليها الحركة أيضاً. وأحد التكيفات الحقيقية العجيبة لظروف البيئة الجديدة هو نشأة الجهاز الهيكلي وكذلك الأطراف لجميع الفقاريات الراقية واستمرار تحسن هذه التركيبات.

وتظهر الزواحف نتيجة الاتجاه نحو الاستقلال عن الماء، فهي لم تعد تحتاج إلى ماء للإخصاب، ويتم الإخصاب داخلياً عقب تلقيح الأنثى ودخول الحيوانات المنوية مباشرة في جهازها التناسلي وبيضها مغلف بغشاء كتيم يمنع التبخر. وتمضي الذرية حياتها المبكرة داخل القشرة حتى إنها حين تفقس، يمكنها استعمال رئتيها مباشرة دون أن تمر بفترة التنفس الخيشومي. وحتى بعض الزواحف تحفظ البيض المحضن داخل الأم وتلد صغاراً حية مغلفة (توالد بيض

حي)، وأغلفتها الحرشفية لا ينفذ منها الماء. وبعض من السحالي توجد أحياء سعيدة في البيئات الصحراوية. وقد ارتد البعض منها، من الناحية الأخرى، إلى الماء. وتمضي سلاحف البحر الضخمة جميع حياتها بالبحر وتعود لتضع بيضها في الرمل الساخن.

وتقلد الطيور الزواحف تماماً، وذلك بخصوص الإخصاب الداخلي وإنتاج بيض ذي قشرة. وقد عملت، بالرغم من ذلك، تجديدين عظيمين: فهي أولاً ذات حرارة ثابتة، أي أنها تحفظ درجة حرارة الجسم ثابتة مستقلة عن درجة حرارة البيئة، وفي ذلك ضمان لمقدرة عضلية فائقة حتى في أبرد حالات الجو. وثانياً فقد عزت عالماً آخر– الهواء، فبتخفيف بنائها العظمي، وبظهور الرئيس بدلاً من الحراشيف، وأخيراً بواسطة تغيرات رئيسية في الشكل العظمي والعضلي، أصبح الطيران ممكناً. والهواء هو البيئة حيث يمكنها السفر، وحتى الرحيل من جزء من العالم إلى آخر لتتبع الفصول ومئونة الغذاء، والهروب من المفترسات، واقتناص الفريسة بطريقة فعالة، حشرة كانت أم سمكة، أو حيواناً ثديياً صغيراً. وللطيران مزايا عديدة واضحة وعجيبة تساعد على البقاء. ومع ذلك فبعض الطيور قد فقدته لكي تقابل بعض مطالب بيئة نوعية أو مجموعة نوعية من ظروف تنافسية. فالنعام وطيور الكيوى مثلان للطيور التي لا تطير، وهي دائمة أرضية. وتستعمل البطارق أجنحتها للسباحة فقط، وقد أصبحت هذه البطارق حيوانات مائية، كما كانت أسلافها البعيدة.

ويبدو أن الطور التناسلي للفقاريات هو أكثر الأطوار عرضة للخطر، وهو اتجاه ثابت نلاحظه من الإنتاج قليل الكفاءة لملايين البيض في الأسماك حيث يتوقع أنه يبقى فقط عدد قليل جداً لناحية الزيادة في الحماية والعناية بالصغار، حتى إن عدد الحضنة يتناقص.

ويرجع بعض من السبب لهذا الاتجاه إلى ازدياد تعقيد تركيب الأفراد كلما صعدنا إلى أعلى الدرج ومع هذه الزيادة توجد فترة أطول للطفولة وعدم النضج، أي فترة أطول يحتاج فيها الصغير إلى رعاية أبوية. وهذا واضح حتى على مستوى التدريب الذي يعوده الآباء لصغارهم. وكلما ارتقى الحيوان، طالت الفترة الضرورية للإشراف على التعليم.

ويرى هذا الاتجاه بوضوح في الثدييات، وهي منحدرة أيضاً من الزواحف. وأكثر الثدييات بدائية، الثدييات وحيدة المخرج (خلد الماء وآكل النمل الشائك) فهي تضع بيضاً. وحين يفقس الصغير يستمد غذاءه من الغدد الثديية البدائية للأم. ولكن في الواقع ليس هذا تقدماً أكثر من إفراز حوصلة حمام لبن حمام) الذي تلفظه الأم للفراخ الصغيرة. أما الكيسيات أو الثدييات التي تحمل كيساً بطنياً (الكانجارو، الآبوسوم الخ) فلها غدد ثديية نامية نمواً جيداً، وليس لبيضها قشرة، وتحتفظ الأم بالبيضة المخصبة داخل رحمها لحين نموها إلى جنين صغير (ولادة الأحياء). وفترة الحمل هذه قصيرة جداً، فما هي إلا أيام قليلة، ثم بعدها "تزحف" الصغار الدقيقة إلى الكيس وتثبت أنفسها على الحلمات حيث يستمر نموها. وفي المشيميات يلتصق الجنين بجدار الرحم بواسطة المشيمة ويستقبل غذاءه لفترة تمتد طوال مدة الحمل. وحين يولد، يكون قد تقدم تقدماً جيداً في نموه وتكوينه. ويمكن بسهولة أن نرى في كل خطوة من هذه السلسلة خطوة لفصل التكاثر وإنتاج الصغار مستقلين عن البيئة، وفي هذا الطريق تتحسن الفرص للبقاء لأي واحد من الذرية وتحتاج الذرية إلى حضانة أطول، نتيجة تعقيدها الظاهر، ولذلك، فكل مقاييس الأمان هذه تقلل الإسراف وعدم الكفاءة.

وغير التقدم في التكاثر، فإن الثدييات ناجحة للغاية في طرق أخرى عديدة

ربما أكثرها وضوحاً هو التقدم المستمر في المخ، ولكن للثدييات ملامح بنائية أخرى، جعلت منها آلات صلبة متينة، ومع ذلك قابلة للتكيف، وأنها بعد بداية بطيئة قد حلت تماماً محل الزواحف كحيوانات رئيسية على الأرض. وتتراوح الثدييات من الذباب الصغير إلى الفيلة الضخمة، ومن حيوان الكسلان إلى القردة النشيطة، ومن الخفافيش الطائرة إلى الحيتان والدرافيل المائية. وهي مثل النباتات الراقية، المغطاة البذور، يبدو أنها تتمتع بوضع سائد في العالم الآن.

وفي تذييل لمناقشة تطور النبات، رأينا أن الفطر، وهو فرع جانبي، أظهر كثيراً من المحاذاة للاتجاه الرئيسي، كبعض تكيفات خاصة في غزوه للأرض. ويمكن أن نضيف هنا سلسلة من تذييلات لمجموعات متنوعة لحيوانات لا فقارية. فمثلاً اتخذت الرخويات طرقاً تنفسية على الأرض، كما نعرف من القواقع والرخويات عديمة الصدفة (البزاقات) في حدائقنا. ولكن أكثر الأمثلة إثارة للعجب توجد بين الحشرات. فلها نوع من الرئات المتشعبة ناشئة عن أنابيب هوائية (قصبات هوائية)، تتخلل الجسم، ولها أرجل في منتهى الكفاءة للسير، وقد غزت الهواء بأسلوب رائع. تمتد تشكيلة طرق تكاثرها من أطوار يرقية مائية (مثل البعوض) إلى التكوين الأرضي البحت (مثل الذبابة المنزلية) وقصورها الرئيسي يبدو في الحجم الذي فرض على هيكلها الخارجي. ولأنها صغيرة الحجم لا تتنافس مع الثدييات، إذ تعيش في دنيا منفصلة من حيث الحجم.

ويوجد كثير من أوجه الشبه القريبة بين تطور الحيوان وتطور النبات. ويرى هذا أكثر وقعاً في جميع الخطوات المؤدية لغزو الأرض. وفي كلتا الحالتين قامت مشاكل فقد الماء، والدعم في الهواء، وصعوبة الفصل بين الماء وعملية التكاثر والتكوين المبكر. والحقيقة أن البيئة نفسها هي التي خلقت المشاكل، وقد حل

كل عالم رئيسي مشاكله بطريقته الخاصة. ومن وجهة النظر الوظيفية نجد أن جميع المشاكل متشابهة، وتكمن الفروق الوحيدة في طرق الحل في تراكيبها الفطرية المختلفة: النباتات عامة هي كائنات غير متحركة نسبياً وآلات لاصطياد الطاقة الشمسية، بينما الحيوانات هي كائنات متحركة تحتاج إلى تخزين طاقة كيميائية.

والغرض من هذا المسح للتطور هو إظهار أنواع التغيرات التي حدثت، وكيف أن العالم الحي الذي نعرفه في الوقت الحاضر قد بزغ من طلائع خلايا بدائية. وقد استغرق هذا ملايين عديدة من السنين، ولكن حتى مع هذا الزمن الطويل، فإن التطور يبدو عملية جديرة بالتعجب. وكان من المعتاد أن يظن أنها عملية غامضة، ولكن منذ ظهرت مؤلفات شارلز داروين العظيمة، انقشع أغلب الغموض، ولو أن العملية تبدو، جديرة بالتعجب وأكثر إثارة للاهتمام عما كانت من قبل.

ومبدأ داروين (وقد اكتشفه كذلك ألفريد ولاس) غاية في البساطة. فقد تأثر بأن كثيراً من الكائنات تلد أو تربي ذرية أكثر مما يصل في النهاية إلى عمر البلوغ أو مرحلة التناسل. وإن جميع الكائنات تظهر تغيرات بين الأفراد، والفكرة هي أن الأفراد المتغيرة التي تتلاءم مع البيئة الخاصة تبقى، والتي تكون غير ملائمة لسبب ما يقضي عليها. وعلى ذلك فهناك انتخاب طبيعي وبقاء للأصلح.

وأول تحذير من هذا المبدأ يختص بما يتضمنه من أن جميع الحياة كفاح قاس، وأن التقدم لا يتم إلا بواسطة المنافسة المميتة بين الأفراد. وليس من الضروري أن يكون الأمر كذلك، وكما فهم داروين نفسه، لا تقع الأهمية الحقيقية في الموت نتيجة للتناحر التنافسي، ولكن بإنتاج ذرية لديها أنواع التغير

التي تساعد على البقاء. وعلى ذلك فما ينتخب في النهاية هم الأفراد الملائمة تلاؤماً جيداً.

والملاحظة الثانية بخصوص نظرية التطور هذه، هي نطقة تاريخية ليس إلا. فقد عرف داروين أن حجز الزاوية لنظريته هو التغير بين الذرية وأن هذا التغير يتوارث بطريقة ما. وبعد نشر "أصل الأنواع" في عام ١٨٥٩ بمدة طويلة، حاول أن يفهم طبيعة هذا التغير، ولكن كانت محاولته فاشلة بقدر ما كانت نظريته في الانتخاب الطبيعي ناجحة. والفضل في اكتشاف قوانين الوراثة يرجع إلى جريجور مندل، وعلى الرغم من أن هذه القوانين قد نشرت في عام ١٨٦٦. فلم يعلم بها أحد من علماء التطور والعلماء الإحيائيين عامة إلا بعد عام ١٩٠٠. وقد أصبحت هذه الآن علم الوراثة، وكما سنرى في الفصل القادم، قد امتزجت تماماً الآن مع دراسة التطور.

ونقطة واحدة فقط هنا لها علاقة بموضوع مغزى الانتخاب الطبيعي كمبدأ إجمالي للتطور جديرة بالذكر. فقبل عمل داروين حبذ لامارك (وبعض الآخرين منذ ذلك الحين) الفكرة القائلة بأن التغير التطوري يحدث باستعمال الأعضاء أو بدونه، وأن التغير المكتسب في حياة فرد واحد، بالاستعمال أو بدونه، ينتقل للذي يليه. وبمعنى آخر، فقد حدث التغير عن طريق الوظيفة. وبينما كان هناك منذ بعض سنوات مضت كثير من الجدل المنطقي ضد هذا الرأي، فإنه لم يستبعد كلية كاحتمال (في الشكل الذي قدمت فيه على الأقل) لحين دراسات الوراثة في القرن الحالي. فقد ثبت أنه بينما الاستعمال أو عدم الاستعمال ربما يؤثر على حجم عضو ما في الفرد، فهذا التغير في الحجم لا ينتقل قطعاً إلى الذرية. وكل ما تورثه الذرية هو:

١ – الحجم الابتدائي للعضو في أحد الوالدين

٢- المقدرة لتغير حجم العضو بواسطة الاستعمال أو بدونه.

وستعالج التفاصيل في كيفية التحكم في التغير فيما بعد، ولكن الحقيقة التي لا مراء فيها هي أن هذا النوع من التوارث للصفة المكتسبة لا يحدث على الإطلاق.

وقد أحدث نشر كتاب داروين، ضجة هائلة، وبدأ أنه المفتاح الذي ينتظره العالم بأجمعه. وبالرغم من ذلك فقد ظهر في التو بعض نقاد لاذعين لمسوا نقط ضعف كثيرة، فكان من آثار هؤلاء النقاد فحص جميع تضمينات النظرية، وقد حث هذا على عمل أوسع جعل النظرية مقبولة أكثر وأكثر عند العلماء الإحيائيين. ومنذ نشر "أصل الأنواع" منذ مائة سنة، لم يكن الرأي في داروين أعلى مما هو عليه الآن.

ويسهل علينا أن ندرك السبب في شك النقاد. فهو ينبع جزئياً من أن نظرية الانتخاب الطبيعي بسيطة لدرجة تشك معها على مقدرتها على تفسير تعقيدات بناء الحيوانات والنباتات وتطورها. ولنتأمل، مثلاً، تطور الخلية نفسها، كيف يستطيع الانتخاب حقاً، أن يفسر كل هذه الأجهزة المعقدة؟

والجواب هو أنه لكي يحدث الانتخاب يجب أن يكون هناك تغير وتكاثر. وفي البداية المبكرة جداً لتطور الخلية لا نعرف تماماً الذي حدث أولاً، ولا كيف رصا معاً. ولكن متى شيد جهاز تحويل طاقة مرة، فيمكن أن يفسر التغير بتغييرات تحدث في الأحماض النووية (وفي الإمكان مقومات كيميائية أخرى).

ويمكن شرح التكاثر بواسطة تخليق مواد جديدة وازدواج البروتينات المعقدة والأحماض النووية ومع افتراض هذا النوع من النظام المبدئي، فإن كل ما يجري في عالم الحيوانات والنباتات يجب أن يكون نتيجة الانتخاب الطبيعي. ويقوم

جزء من البرهان سواء على إثبات مقدرة طبيعة التغيرات لتزويد مادة لهذه الإصلاحات التقدمية المتقنة أم لا. وعلى قدر ما هو ممكن للحصول على جواب لهذا السؤال من علم وراثة الكائنات في يومنا الحاضر، فسنرى في الباب القادم أنه لا يوجد أي سبب لافتراض وجود أي صعوبات جدية. ويختص الجزء الآخر من البرهان بالانتخاب وحقيقة حدوثه أو عدمه. وقد يكون من السهل القول بطريقة جازمة أن بناء كذا وكذا قد أصبح كاملاً بواسطة الانتخاب الطبيعي، ولكن ثباته هذا أمر آخر، وبخاصة إذا كان هذا التغير قد اقتضى مليون عام وأجيالاً متعاقبة عديدة. وقد أيد داروين جدله هذا بإظهار أن الحيوانات الأليفة يمكن أن تتحور بوساطة الانتخاب الذي يجريه الإنسان. فإذا ربيت تلك الأبقار ذات الإنتاج العالي من اللبن وحدها، فقد يظهر تحسين مستمر في متوسط إنتاج اللبن بالنسبة للبقرة الواحدة. ولكن هذا حتى الآن لا يكفي للإجابة على السؤال بخصوص ما إذا كان هذا النوع من الاختيار يحدث عادياً في الطبيعة.

وتوجد بعض تجارب حديثة للعالم هـ. ب. د. كيتلويل والتي لها علاقة مباشرة بهذه النقطة. فمن المعروف جيداً أنه من حين لآخر تنتج الحيوانات ذرية استثنائية إما بيضاء (بهقاء) تنقصها جميع الصبغات، أو سوداء (داكنة) بها زيادة في الصبغات. وغالباً ما تختفي هذه الأشكال ولا تكون أي جزء هام من الآهلات، ولكن لوحظ في المائة عام الأخيرة في إنجلترا وعلى القارة الأوروبية وجود زيادة ملحوظة في عدد من الأشكال الداكنة لفراش معين. وقد لوحظ أن هذه الزيادة في الفراشات الداكنة تسير جنباً إلى جنب مع التقدم في الصناعة. وعلى ذلك قام الافتراض بأن الأشكال الداكنة قد فضلت فجأة في الانتخاب الطبيعي؛ وذلك من أجل لونها الوقائي في المراكز الصناعية الجديدة المليئة

بالدخان (حيث توجد الأشكال الداكنة بكثرة فائقة).

ولاختبار هذا الافتراض أخذ كيتلويل عدداً كبيراً من الأشكال العادية، والأشكال الداكنة من الفراش ووضعها (١) على أشجار في منطقة غابات بعيدة من المدينة و(٢) في غابة بجوار بعض المصانع حيث القلف داكن لدرجة عظيمة لكثرة الهباب. فوجد أن هذه الفراشات، التي تظل ساكنة في وقت النهار على جذوع الشجر، تفترسها أنواع من الطيور آكلة الحشرات بنهم، إذا أمكن اكتشافها.

وفي الغابة البعيدة عن المدينة لاحظ افتراس عدد من الأشكال الداكنة، أكثر من الأشكال العادية المتنكرة جيداً، بينما في الغابة الواقعة بجوار المصانع تقع الفراشات العادية الفاتحة اللون، فريسة سهلة للطيور وتترك الفراشات الداكنة غالباً بدون أذى. وقد أعيدت هذه التجربة بطرق عديدة مختلفة، وكانت كلها بنفس النتيجة الجوهرية. هذا المتغير الأسود الجديد له مزية انتخابية في الغابات القريبة من المراكز الصناعية. وتثير نتيجة هذه التجربة برهاناً واضحاً جداً على أن الانتخاب الطبيعي يحدث فعلاً وأنه عامل هام في تغير صفة الكائنات في الطبيعة.

ودرس آخر ربما نفيده من هذه التجارب: هو أن التغير في جماعة الفراش كان نتيجة للتغير في البيئة. وفي محاولتنا شرح هذا الأمر يمكن أن نأخذ الخطوة الأولى لمحاولة فهم العوامل التي تسبب التغيرات التطورية. وإذا تغيرت البيئة، فإن العوامل التي تقدم التكيف، قد يحدث فيها نفسها بعض التغير. والبيئات الجديدة لا توفر فرصاً جديدة فحسب، ولكنها تفرض قيوداً جديدة، وقوى انتخابية جديدة. ومثل المناطق الصناعية هو مثل غاية في الوضوح لهذا المبدأ، ولنتصور غزو الأرض كحد أقصى آخر حيث تختلف البيئة الجديدة اختلافاً

جوهرياً، وحيث عدد الفرص الجديدة عظيم، وقوى الانتخاب مختلفة اختلافاً كلياً.

وفي حالة الدكانة الصناعية، يحدث التغير بدون أي هجرة من ناحية الفراش، ولكن بالأحرى كنتيجة لعمل يد الإنسان. والتصنيع هو حالة جديدة فرضت على البيئة الطبيعية للفراش. وفي حالة غزو الأرض، تحركت النباتات والحيوانات من بيئتها المائية، وهاجرت إلى بيئة عذراء جديدة، وربما اتخذت الخطوات الأولى في مناطق المد والجزر، أو في الأراضي الرخوة المبللة، ولكن خلال هذه المساحات البيئية تم التحول الحقيقي إلى الأرض. ومع التحول أتت المشاكل الجديدة: تنفس الهواء، منع الجفاف، السنادة، الحركة، وأشياء متقاربة أخرى. وبذلك ازدهرت النباتات والحيوانات التي ظهرت بها تغيرات جعلتها أكثر ملاءمة لتكافح أية مشكلة من هذه المشاكل، وبمرور كثير من الأعوام وكثير من الأجيال أدت عملية التقدم هذه ببطء إلى حياة أرضية حقيقية، وقد امتد التقدم، إلى أبعد من النباتات والحيوانات الأرضية الابتدائية حتى ظهرت في النهاية النباتات مغطاة البذور من ناحية، والثدييات من الناحية الأخرى. ولا يوجد أي سبب للاعتقاد بأن هذه التغيرات الكبيرة ليست سوى نتيجة لنفس الميكانيكيات التي أدت إلى التغير الصغير في حالة الدكانة الصناعية. ويتخذ أحدها خطوة صغيرة في سنين قليلة؛ والآخر يتخذ آلافاً مؤلفة من الخطوات على مر ملايين من السنين.

والهجرة للبيئات الجديدة حدثت أيضاً بطرق كثيرة مخففة. فالهجرة إلى الصحراء، مثلاً، حيث الظروف القصوى لحياة الحيوانات والنباتات، وفي الواقع تغيرت كائنات الصحراء بالانتخاب حتى يمكنها أن تكافح هذه الظروف القصوى. والهجرة إلى ارتفاع شامخ أنتجت ثروات حيوانية، ونباتية مختلفة.

وهذا صحيح أيضاً في حالة الهجرة الواسعة إلى القطب الشمالي أو القطب الجنوبي، أو أي منطقة مناخية رئيسية أخرى.

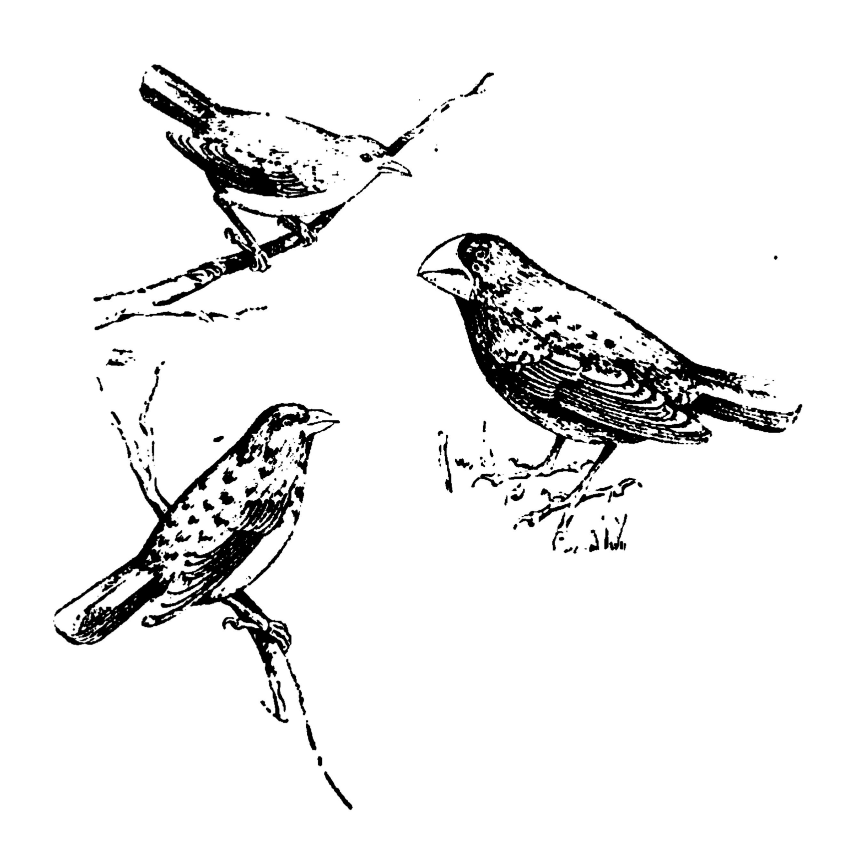
وحادث آخر للتغير قد يكون في التغيرات الرئيسية في مناخ الأرض، والتي حدثت في ماضينا الجيولوجي. ولنتأمل، مثلاً العصور الجليدية، حين أتت كتل الجليد إلى المناطق المعتدلة ثم انحسرت بعد ذلك. وأي مجموعة من الكائنات توجد في منطقة خاصة لابد أن تحدث بها تغيرات أساسية ملائمة للتمشي مع الجو.

ومن الخطأ أن نظن أنه حين يغزو كائن جديد إقليماً بكراً غير مسكون، ينتج ببساطة شكلاً واحداً متكيفاً. فغالباً ما توفر أي بيئة أكثر من فرصة واحدة، وإذاً، فربما يتفرق الكائن الجديد بسرعة إلى سلسلة من أشكال مختلفة، ويغتنم كل منها فرصة خاصة. وهذا هو ما يسمى بالتشعع التكيفي، وهو حالة لا ينتخب فيها شكل متغير واحد بشكل خاص فقط، ولكن يكون هناك عدد مختلف من قوى انتخابية مختلفة تعمل في آن واحد، حتى إن الشكل الأصلي يتفرق في اتجاهات عديدة. ومن أحسن الأمثلة على ذلك ما اكتشفه داروين بنفسه في أثناء رحلته البحرية على السفينة بيجل في أوائل القرن التاسع عشر. فقد وجد على جزر الجالا باجوس المعزولة مجموعة من طيور صغيرة تشبه البرقش، وتظهر عليها كلها علامات القرابة الواضحة. وقد افترض أن نوعاً واحداً من طيور البراقش وصل مصادفة إلى هذه الجزر العديمة الطيور أساسياً (وذلك بخصوص الطيور الأرضية على الأقل)، وأنه كان يوجد عدد من أنواع مختلفة من الأغذية يمكن الحصول عليها. ووجد أن بعض طيور البراقش التي توجد هناك في الوقت الحالي، تسحق بذور النباتات المتنوعة بمناقيرها القوية على شكل الوتد، كما كانت أسلافها تفعل من قبل. وإن البعض الآخر أصبح آكل

حشرات، وتحولت مناقيرها تحولاً مناسباً. وربما كان أكثر الجميع إثارة للعجب، هو طائر البرقش الذي يأكل الديدان الصغيرة من الأشجار على منوال نقار الخشب. وعلى الرغم من ذلك، فينقصها المنقار الطويل المؤبر، ولذلك فإنها تلتقط شوكة نبات الصبار، وتستعملها كمجس في فجوات القلف. وغالباً ما تذكر هذه كمثل لاستعمال الآلات (العدد) بواسطة الحيوانات، وهي مقدرة، يدعي أحياناً أنها من اختصاص الإنسان وحده. ولكل نوع من الاثنى عشر نوعاً من البراقش عادات تختلف قليلاً عن بعضها البعض، وكل واحد منها يستغل ركناً من أركان البيئة المختلفة التي تتوافر في جزر جالاباجوس. وهذا إثبات مقنع لأهمية البيئة في فرض ضغوط انتخابية مختلفة على الأنواع، وكانت إحدى الملاحظات العامة التي وجهت داروين لسلسلته التفكيرية التي أدت إلى نظريته عن التطور (شكل ٩).

وإحدى نتائج الضغوط الانتخابية على سلالة جزر جالاباجوس كان إنتاج أنواع جديدة، وفي الحقيقة، قد تحول نوع أصلي واحد إلى أنواع كثيرة، وكان هذا معترفاً به منذ البداية الأولى كجزء هام لعملية التطور؛ حتى إن داروين قد سمي كتابه "أصل الأنواع بواسطة الانتخاب الطبيعي". ويظن أن النوع هو مجموعة من كائنات يمكنها، ضمن قومها، أن تنتج ذرية خصبة، ولكن لا يمكنها، إذا لقحت من أشكال تنتمي إليها، إنتاج هجن قابلة للحياة. أي إن النوع هو وحدة تناسلية. والسبب في أن هذا النوع من العزل التناسلي يعتبر هاماً، بالتعبير البدائي جداً، هو أنه إذا استطاعت جميع أنواع الحيوانات والنباتات التهجين أحدها مع الآخر بنجاح، فستنمحي كل خطوة تطورية إلى الأمام وذلك بتخفيف التقدم في الهجين. ويميل التطور بالانتخاب إلى أن ينتج أشكالاً جديدة وحيدة بينما يميل التهجين المفرط إلى جعل جميع الأشكال متشابهة

ويؤدي إلى توحيد أعظم في الشكل. والطريقة الوحيدة لحفظ الأشكال الجديدة هي بإيجاد طرق لعزلها، حتى إنها ربما تفقد قوة التهجين في النهاية. والتطور، إذا، ليس بعملية مستمرة كاملة ولكنه يتقدم في سلسلة من الخطوات، وهذه الخطوات هي الأنواع.



شكل ٩– ثلاثة من طيور براقش داروين من جزر الجالاباجوس ويظن أن طيور البراقش هذه قد نشأت جميعها من سلف عام. بعضها قد أبقى على عادات مثل طائر البرقش وتسحق البذور بمناقيرها الكبيرة (يمين)، على حين تحولت منها مجموعة أخرى تحولاً كبيراً فأصبحت من أكلة الحشرات أو كالطيور المغردة في عاداتها (فوق) بينما تأكل سلالة أخرى الديدان الصغيرة بطريقة طيور نقار الخشب (أسفل).

وهناك عدد من الطرق التي يحدث العزل في تنشئة الأنواع الجديدة بواسطتها. وواحدة من أهم الطرائق، وقطعاً أسهلها الملاحظة، هو العزل الجغرافي. وإذا أصبح نوع منفصلاً بواسطة سلسلة جبال أو بواسطة كتلة كبيرة من الماء فلا يمكن إذا لأعضائه أن تتهجن بعد ذلك. فهي منفصلة فيزيقياً. وإذا تعرضت المجموعات المنفصلة لضغوط انتخابية مختلفة اختلافاً طفيفاً، فستنحرف ببطء، وتصبح متميزة. وأخيراً تصل العملية إلى حد أنه إذا أزيل الحاجز الطبيعي فجأة، فإن النوعين لا يتهجنان ثانية مع بعضهما البعض، فقد أصبحا نوعين منفصلين. والأمثلة على ذلك كثيرة، وقد ثبتت صحة الكثير منها في كل من عالمي الحيوانات والنباتات. ففي النباتات، حيث لا توجد طريقة للحركة، كالعدو، أو الطيران من منطقة إلى أخرى، غالباً ما تكون الحواجز صغيرة ولكنها تنتج عزلاً فعالاً وظهور أنواع جديدة.

وفي حالات أخرى ينتج نوع واحد نوعين اثنين، على الرغم من أنهما يستوطنان نفس المنطقة. ويمكن أن يتحقق هذا لأن أي منطقة تشمل أجزاء عديدة، تمكن بسهولة ممن سد أود قومين دون أن يختلطا معاً. فمثلاً توجد أمثلة معروفة حيث تنفصل أنواع الذباب أو الحشرات الأخرى إلى عنصرين، يعيش أحدهما على قمم الأشجار والآخر قريباً من سطح الأرض. وربما تتغير في نواح أخرى، كوقت التزاوج في أثناء النهار، وعلى ذلك فرغم أنها تعيش متقاربة مع بعضها البعض، فهي منعزلة بطريقة فعالة، ويمكن أن تعطي أنواعاً منفصلة. وهذا نوع من العزل البيئي.

وأما بخصوص طرق منع التوالد الخلطي والتي ربما تنشأ إما عن عزل جغرافي أو عزل بيئي فيوجد عدد كبير من الميكانيكيات تمنع التهجين، أبسطها التوقيت في الحيوانات والنباتات. فالعناصر المختلفة أما أن تنجز الإخصاب في أوقات

متباعدة من اليوم كما في الحالة التي ذكرت توا)، أو أن جميع فصول التوالد لا تتوافق مع بعضها البعض. وتوجد وسائل كيميائية في أغلب الكائنات لمنع التزاوج الناجح بين العناصر والأنواع؛ وقد تعمل هذه عند أي خطوة من التسلسل الطويل للأحداث الكيميائية التي تؤدي إلى إخصاب ناجح. ويتم الإخصاب أحياناً ولكن الجنين الناتج لا يصل للنضج أبداً. وأخيراً، كما هو الحال في البغال، تتكون الهجن ولكنها تكون عقيمة لا تستطيع التكاثر.

وفي موضوع التهجين، كما سنرى حين ندخل موضوع علم الوراثة، نلاحظ في النباتات بعض المميزات الخاصة بها، والتي تختلف فيها عن الحيوانات. وواحدة من تلك هي أن النباتات ربما تنتج حقيقة أنواعاً جديدة وذلك بإنتاج هجن قابلة للحياة. وهذا استثناء لقاعدة العزل التي فسرناها، وهذا الاستثناء نفسه يستعمل في الحصول على أنواع جديدة.

وللحيوانات بجانب الطرق الكيميائية لتأكد العزل، طريقة أخرى ثارت الاهتمام حديثاً. فالعزل عندها يتضمن طابعاً سلوكياً معقداً حيث يذهب الذكر والأنثى خلال سلسلة من الحركات الغزلية، تعتمد كل واحدة من هذه على الحركة السابقة المناسبة للشريك، وقد اكتشف أنه إذا أحضرت سوياً عناصر متقاربة من ذباب الفاكهة أو من الأسماك وكلاهما قد درس درساً وافياً)، فقد اكتشف أنه، بسبب بعض الاختلافات الطفيفة في إحدى خطوات هذه الحركات الغزلية، خاصة، فإن الغزل يتوقف فجأة عند نقطة. وإذا، فالتغيرات الطفيفة في هذه الطوابع يمكن أن تعمل بوسائل فعالة لمنع التهجين.

وقد تدارس علماء الأحياء القديمة وعلماء البيئة لبعض من السنين العوامل التطورية التي ناقشناها هنا وحاولنا باستمرار أن نرى كيف أن السجل الحفري، من ناحية، وتوزيع الحيوانات والنباتات في أيامنا هذه، من الناحية الأخرى،

يتلاءم والتطور. ويبدو أنه لا يوجد أي تناقش رئيسي، وهناك شعور عام بأن آلية التطور كما فهمناها تسود، وخاصة من جهة أهمية الانتخاب والطريقة لتكوين أنواع جديدة.

وإذا اتجهنا إلى تطور المجموعات فوق مستوى الأنواع، أي، تطور الأجناس، العائلات، الرتب، الطوائف وحتى الشعب، فإننا نأتي إلى موضوع جدلي نوعاً ما، فهناك من يضعون تأكيداً كبيراً على عدم الوصل، وعلى الثغرات بين المجموعات الرئيسية، ويشعرون أن هذه الخطوات يجب أن تكون قد حدثت بواسطة قفزات كبيرة لا تزال طبيعتها غير واضحة تماماً. والرأي المضاد هو أن الثغرات تمثل اختفاءات بسيطة في الخطوات البيئية المتوسطة. ومشكلة قديمة أخرى تظهر في أن خطوطاً معينة للتطور يبدو أن لها توجيهات معينة، فتسير إحداها في طريق مستقيم (كما يرى جيداً بوجه خاص في تطور الحصان) بينما تبدو الخطوط الأخرى متشعبة في جميع الاتجاهات. هذا وقد نسب التطور المستقيم إلى قوى تطورية خاصة، ولكن وجهة النظر الحديثة أيضاً هي أن الانتخاب في الوسط البيئي والجغرافي الملائم يكون أكثر من اللازم لتقدير الظاهرة. وفي بعض الحالات تكون الضغوط الانتخابية مشتتة. وواحد منها له نموذج شعاعي كما في طيور براقش داروين، ويكون ضغط الانتخاب ضيقاً وعلى نمط واحد، كما في تطور الحصان. في هذه الحالة يعزي التوجيه الظاهر للتغير التطوري إلى ضغط الانتخاب لزيادة الحجم وحده. ومن أكثر الطرق إثارة للدهشة وأقواها والتي تظهر قوة الاختبار هي ظاهرة التقارب. فإذا كان هناك أي ضغط لوظيفة خاصة، فإن أي كائن حي موجود في هذه البيئة قد يتجاوب. فالحشرات والطيور والخفافيش، قد كونت أجنحة وغزت الهواء. وفي هذا ما يظهر أن للضغط الانتخابي الواحد مفعولاً متشابهاً في ثلاث مجموعات لا تنتمي لبعضها

كلية.

ومن حيث تضاد التطور الإشعاعي للتطور المستقيم، نرى أن نفس هذا النظام المزدوج للانتخاب يعمل في تطور العوالم والشعب الرئيسية. ويبدو أن الخلايا الأولى قد تشععت، وحاولت تجارب عديدة مختلفة في تعددية الخلايا. وفي تلك البيئات المبكرة نجح بعضها فقط، واندفعت قدماً في خطوط مستقيمة لتنتج أشكالاً أكثر تعقيداً. ولكن مع الاندفاعات التقدمية تتشابك فترات تجارب جديدة، وفترات إشعاع جديدة. ويذهب التطور قدماً بالاندفاعات والتوقف. وحتى معدل التطور نفسه، وهو ما يمكن قياسه بدقة في هذه الأشكال التي تركت سجلاً حفرياً يتغير. فبعض المجموعات كالرخويات كانت بطيئة للغاية في تقدمها، بينما كانت بعضها الأخرى، كالثدييات، في منتهى السرعة. ويمكن فهم هذا كله، إلى جانب هذا في ضوء الانتخاب في بيئات خاصة. ولا يبدو أن هناك ضرورة لافتراض ميكانيكيات أخرى لشرح الحقائق كما نعلمها الأن.

الفصل الثالث

الوراثة

يختص علم الوراثة بدراسة التغير المقيد، وانتقاله من جيل إلى الجيل الذي يليه. ولا يكفي للكائن أن يختلف عن الآخر ليكون ذا فائدة في الانتخاب والتطور، إذ يجب أن تتوارث الاختلافات. فمثلاً إذا طلبنا فراشاً باللون الأسود بجوار مركز صناعي، فربما يساعد هذا على تحسين فرص البقاء لهذا الفراش؛ ولكن ذلك، بكل تأكيد، لن يساعد ذريته على الإطلاق.

ومن أبسط الطرق التي تؤدي إلى تغير متوارث هي الطفرة، وهذه الطريقة تتضح بسهولة بين البكتيريا وكائنات أخرى وحيدة الخلية. والطفرة هي تحول في البناء الكيميائي للجينات، وجميع ذرية الخلية التي تحدث بها الطفرة تحمل الصفة الجديدة. وهذه الطريقة وحدها تفيد البكتيريا، لأن تكاثر الخلية سريع، وعدد الخلايا في أي من جماعات هذه الكائنات غالباً ما يكون كبيراً. وإذا وجدت الخلايا في بيئة جديدة، فمن المنتظر أن أحد المتغيرات سيكون له فائدة انتخابية لا تتوافر في غيره. وبهذه الطريقة، أي بنوع من النجاح والإخفاق أو المحاولة والخطأ، يمكن غزو البيئة الجديدة.

ويوجد مثل معروف جيد لهذه الظاهرة. فإذا وضعت خلايا بكتيرية في طبق استنبات من البنسلين، تكف أغلبية ملايين الخلايا العديدة عن النمو؛ ولكن غالباً ما يحدث أن خلية واحدة تتغير بالطفرة إلى شكل يقاوم البنسلين، وتبدأ مستعمرة صغيرة لتنمو في المزرعة. وهنا نجد بيئة مضادة تحول دون نمو جميع

الخلايا، ولكن بواسطة تغير فجائي في جين واحد حدث تغير في بعض أجهزة الخلية مكنها من النمو وغزو هذه البيئة المضادة.

وهذا، بالطبع، هو الذي يحدث بالضبط في جماعة البكتيريا الممرضة للإنسان. ولهذا السبب يجب النصح بعدم استعمال المضادات الحيوية إلا عند الضرورة فقط، وذلك لكي نقلل من فرص جميع مسببات أمراض الإنسان في مقاومة المضادات الحيوية.

ومن السهل أن نجري في المعمل أنواعاً أخرى من تجارب الانتخاب. ففي بعض الحالات يسود تغير طفري واحد فقط، ويختفي الشكل الأبوي، كما يحدث في المثل السابق. وفي حالات أخرى يظل المتغير الطفري بين قومه بجانب النوع الأبوي، ويحافظ نوعا الخلية، أثناء نموهما، على نسبة ثابتة في عددهما.

وقد درس السبب في ذلك، وأصبح من المعروف أن كلا من نوعي الخلية ينتج مواد تحد من نمو النوع الآخر، وبناء على ذلك، من عدد الخلايا. وبهذه الطرق الكيميائية يتم توازن بين الأعداد، ويعتبر هذا المثل كنموذج للتفاعلات بين الأفراد – وهذا موضوع سنعود إليه فيما بعد.

توجد في تجربة البنسلين، بالطبع، طفرات أخرى بجانب الطفرة الخاصة التي أشرنا إليها، ويحتمل أن تكون هذه الأخيرة عديمة الفائدة في هذه البيئة. وبوجه التقريب وتحت الظروف الطبيعية، يكون لخلية واحدة في كل ٢٠٠,٠٠٠ فرصة لبعض أنواع الطفرة. ولا يوجد طريق معروف إلى الآن لتوجيه الطفرة في اتجاه معين، ولو أن العوامل الكيميائية المختلفة والإشعاع على وجه الخصوص – مثل، أشعة رونتجن **X-rays** أو الأشعة فوق البنفسجية – تحدث زيادة إجمالية في معدل الطفرة. ومن المفروض أن الطفرة تشمل تغيراً في بناء جزيئات أحماض ديزوكسيريبونيوكليك **DNA** وينقل تأثير هذا التغير إلى السيتوبلازم. وجزيء

DNA معقد ذو بناء نوعي. ويمكن أن يصنع بالازدواج جزيئات مشابهة له تماماً تنتقل للخلايا البنوية في النمو وانقسام الخلية.

ومنذ سنوات قليلة تم اكتشاف مثير للاهتمام، وهو أنه إذا أضيفت خلاصات **DNA** من نوع واحد من البكتيريا لخلايا بكتيرية أخرى، فإن خلايا السلالة الثانية تأخذ صفات الأولى. وبمعنى آخر يؤثر إنتاج حمض الديزوكسيريبونيوكليك المضاف إلى إنتاج **DNA** للخلايا المنقسمة الكاملة حتى يحدث تغير وراثي حقيقي ودائم. وربما يكون أول ما يناقش هو أن هذا مثل لطفرة موجهة، لكن لن يهيئ هذا وضعاً مفيداً للوقائع. وحمض الديزوكسيريبونيوكليك المضاف يوفق بكيفية ما ليحصل على موضع يمكنه أن يكون مسئولاً عن تخليق حمض الديزوكسيريبونيوكليك الجديد. وتسمى هذه العملية تحولاً، وعلى العكس من الطفرة، يمكن أن تشبه بخطأ في شفرة. فإن التحول يمكن أن يشار إليه كأنه شفرة جديدة قائمة بذاتها أدخلت خلسة في العمل.

ويمكن أن نلحظ من نظرة خاطفة أن رؤية نظام التغير بالطفرة البسيطة للبكتيريا له تحديدات كثيرة تقلل من كفاءته. والنقطة الرئيسية هي عدم وجود احتياطي للخلية، فجميع المقومات الرئيسية لكل خلية تظل مستعملة. ولا يوجد سبيل عدا الطفرة التي تحدث مصادفة لحمل مميزات يمكنها أن تكون مسئولة عن التغيير في الأجيال القادمة. ويرتبط مع هذا عدم وجود فرصة لخلط المميزات ما دام لجميع الخلايا نفس المقومات الوراثية.

ويحدث أكثر أنواع الخلط الابتدائي في بعض كائنات أولية عديدة الخلايا. ففي العفن الخلوي اللزج تتغذى الأميبة المفردة أولاً ثم تتجمع بعد ذلك على هيئة كتل تشكل في النهاية أجساماً صغيرة مثمرة. وإذا ابتدأت مستعمرة من

خلية واحدة، فستكون كتلة الخلايا متجانسة إن لم تحدث طفرة. ولكن ظهر أن الخلايا التي تتجمع تكون أحياناً ذات تركيب وراثي مختلف، لذلك إذا فكرنا في وراثيات كتل الخلايا بأكملها، فقد يكون فيها ضرب من الجينات يعتمد على الخلايا التي تدخل في تركيبها. وهذا يعني أن لأي نوع من العفن اللزج يكون أكثر من أبوين، وتتوقف صفته الخاصة ونجاه في الانتخاب على تكتل مقوماته الوراثية، وعند التبوغ تتكون كل جرثومة من أميبا مفردة. لذلك حين تنتشر هذه الجراثيم توجد هناك جميع أنواع الاتحادات الجديدة الممكنة من كتل متجمعة للجيل القادم. وواضح أن هناك بعض المخاطرة في النظام، لأنه ربما لا يكون ضرورياً أن يأتي في كل جيل الاتحاد المناسب لأشكال الخلية مع بعضه. ولكن فائدة النظام العظمى هي وجود خلايا ذات أشكال مختلفة كاحتياطي، ومن المحتمل أن يكون في الكتلة نوع من خلية قوية يمكنها أن تتلاءم فوراً مع البيئة الجديدة المضادة. وليس من المفروض أن تعتمد الكتلة على فرصة ظهور طفرة ملائمة، كما فعلت البكتيريا في أمثلتنا السابقة. وطريقة التأمين الجديدة هذه تعني أيضاً أنه لا ضرورة لوجود عدد كبير من الأجيال قصيرة العمر لضمان التغلب بنوع مرض على بيئات جديدة وربما مضادة.

وتوجد طرق عديدة أخرى لحفظ كمية كبيرة إضافية من مميزات أو جينات مختلفة وخلطها ثانية بطرق مختلفة في السلالة لتنتج تغييراً في أفراد الذرية، وطريقة التناسل الجنسي هي أكثرها شيوعاً وأكثرها نجاحاً. والجنس هو حجر الزاوية لإنتاج المتغيرات، وهو طريقة ذات كفاءة عالية لتناول ونقل التغير. وهي توجد في جميع المجموعات الحيوانية والنباتية من الدنيئة إلى الراقية. وفي الحقيقة حين توجد الخلايا توجد صفة الجنس، لأن ميكانيكية عملية الجنس مرتبطة ببناء الخلايا. ومن أكثر الاكتشافات الحديثة إثارة للدهشة اكتشاف ج. ليدربرج و

أ. ل. تاتم، الذين وجدا أن لبعض البكتيريا جهازاً تناسلياً. وفي هذه الحالة لم يكن ممكناً بعد رؤية جميع التفاصيل الميكانيكية ولو أنه توجد دلائل، على الأقل، بأنه يجب أن يكون هناك تشابه وظيفي بين النظم الجينية وكروموسومات البكتيريا ومع مثيلاتها ذات الأشكال الخلوية الراقية.

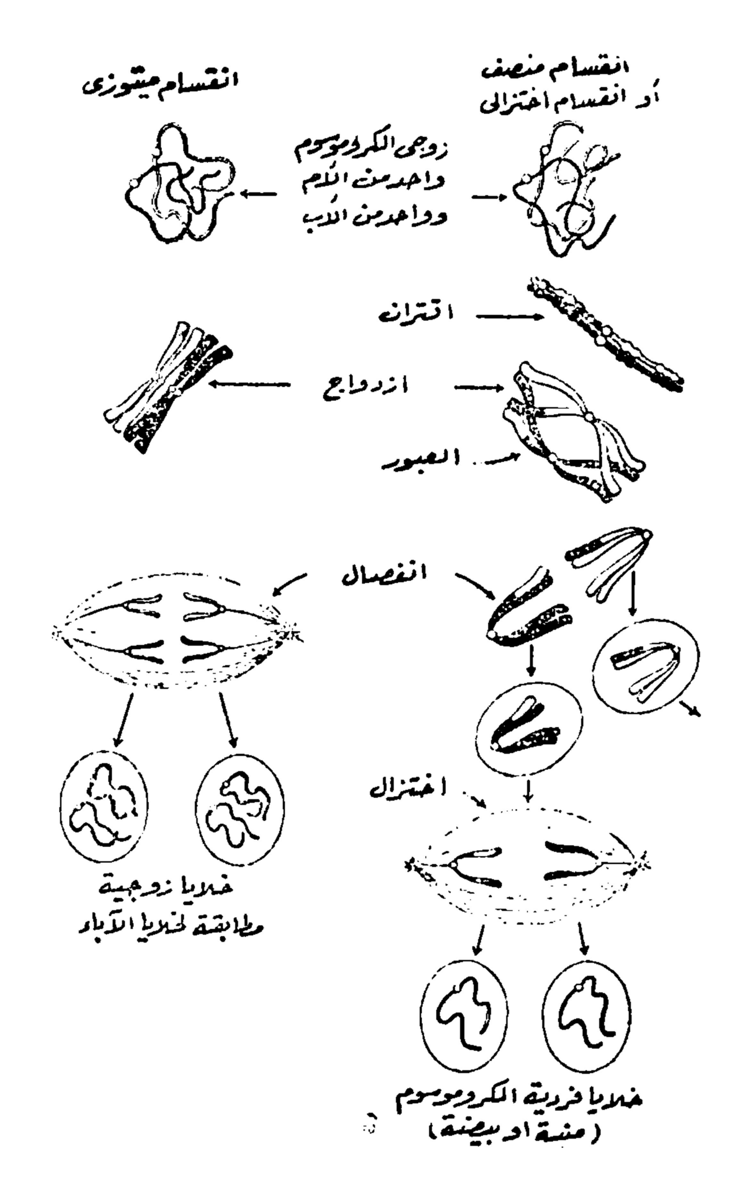
وفي أغلب الأشكال الجنسية الراقية يحوي الفرد اليافع مجموعة مزدوجة من الكروموسومات (أي إنها على النظام الزوجي)، أي لكل كروموسوم توأم بجانبه. وربما لا كون الكروموسومات التوائم متشابهة، وذلك لأنه عند نقط متناظرة على الكروموسومات قد يكون جين في شكل متغير طفري من المقابل له. وإذا اختلفت أزواج من الجينات، فتسمى متباينة اللاقحات لهذه الصفة، وإذا تشابهت فهي متشابهة اللاقحات لهذه الصفة. والفائدة من وجود مجموعتين من الكروموسومات هي أنه في الأفراد المتباينة اللاقحات (وفي الطبيعة غالباً ما يكون الأفراد متبايني اللاقحات حقيقة) يكون من المستطاع حفظ ذخيرة من الجينات الإضافية التي يمكن أن تسهم في إنتاج نسل متغير.

والأمشاج، الخلية الذكرية والبيضة، لهذه الأفراد أحادية، أي بها مجموعة واحدة فقط من الكروموسومات. وهذا يعني أنه في أثناء تكوين الأمشاج يجب أن يوجد انقسام خلوي خاص يؤدي إلى انفصال التوائم الكروموسومية بعضها عن بعض، ويحدث هذا الانقسام الخاص بالفعل في خطوتين، ويسمى بالانقسام المنصف أو الانقسام الاختزالي.

والانقسام الاختزالي ليس أكثر من انقسام ميتوزي خاص. وفي الانقسام الميتوزي، الذي يصاحب انشطار الخلية، يوجد ازدواج لكل كروموسوم حتى يمكن أن تكون جميع المميزات (الجينات) للخلية الأم موجودة في كلتا الخليتين البنويتين. إنه نظام مبتكر متقن يمكن للازدواج المضبوط أن يتم بأقل عدد ممكن

من الأجزاء. وإذا وزعت الجينات عشوائياً خلال الخلايا فإن الأمر يستلزم أكثر كثيراً من اثنين من كل جين للتأكد من أن كل خلية بنوية تحوي في النهاية مجموعة متكاملة من الجينات بعد التلقيح. ففي أحد الانقسامين الاختزاليين لا يوجد ازدواج كروموسومي، وبدلاً من أن يذهب زوج من الكروموسومات الجديدة لكل خلية، كما في الانقسام الميثوزي، يذهب فرد واحد من الزوج فينتج عن ذلك خلية ذكرية أو بيضة على النمط الأحادي.

وإذا تذكرنا الآن أن الكروموسومين في زوج يمكن لهما أن يكونا متبايني اللاقحات، أي إن بهما جينات مختلفة عند نقط أو أماكن متعادلة، فإن الأمشاج الناتجة حينئذ تكون مختلفة في محتوياتها الجينية، وليس هذا فقط، ولكن لنفرض كائناً متباين اللاقحات يحتوي في الحالة الزوجية على أربعة أزواج من الكروموسومات، أأ، ب ب، ج ج، د د، فإنه يمكن بفضل هذه في الانقسام الاختزالي وجود عدد كبير من أمشاج مختلفة ممكنة: أ ب ج د، أ ب ج د، أ ب ج د، أ ب ج د الخ. ولذلك تتأكد القابلية للتغير بهذا النظام، وكلما كثر عدد الكروموسومات كثر العدد المستطاع للأمشاج المختلفة. (شكل ١٠).

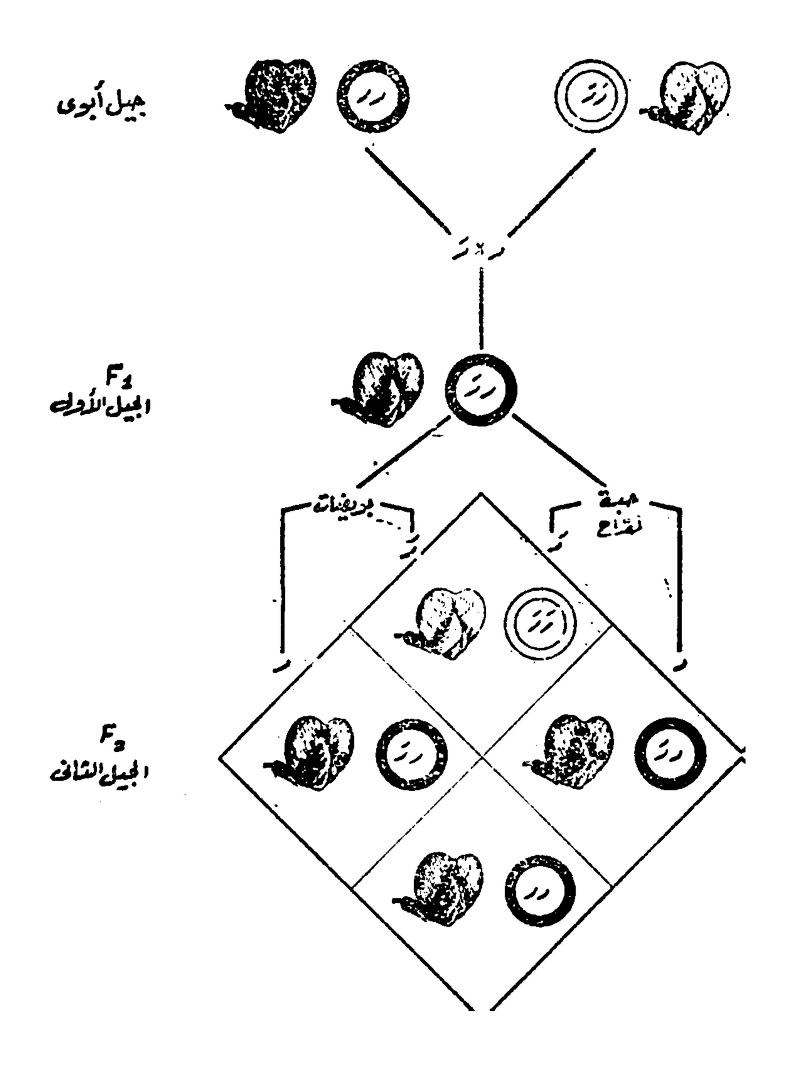


شكل ١٠ – مقارنة انقسام ميتوزي وانقسام منصف أو اختزالي. يلاحظ أن النتيجة النهائية في الانقسام الميتوزي متشابهة للخلية الأبوية، بينما في انقسامي الانقسام المنصف أو الاختزالي اختزل عدد الكروموسومات للنصف وتبادلت أجزاء من الكروموسومات في عملية العبور.

كانت المناقشة حتى الآن في حيز علم الخلية، بقصد التعرف على ما يمكن

استنتاجه من سلوك الكروموسومات، ومن المفيد أن نتريث هنا لنوضح أن هذه المعلومات ترتبط تماماً باكتشافات عظيمة في علم الأحياء. ففي عام ١٨٦٦ نشر مندل بحثاً عن التوارث في البازلاء حيث هجن نباتات ذات أزهار أرجوانية وأزهار بيضاء. وقد أعطى الجيل الأول أزهاراً كانت جميعها أرجوانية، وحين هجنت هذه بعضها مع بعض، أعطى الجيل الثاني مزيجاً من أزهار بيضاء وأرجوانية. وبإحصاء عدد هذه الذرية تبين أن ربع الأزهار كان أبيض وثلاثة أرباعها كان أرجوانياً. ومن هذه الحقائق وصل مندل إلى الاستنتاجات الآتية الجديرة بالاعتبار. إن الصفات تورث كوحدات، وممكن لصفة واحدة أن تكون سائدة على الأخرى، وفي هذه الحالة يسود اللون الأرجواني على اللون الأبيض شكل ١١) ص ١٠٧.

وفي البازلاء الأرجوانية نقية السلالة تكون الأرجوانية هي الصفة السائدة (ر ر) وفي البيضاء تكون صفة البياض متنحية (رر). لذلك ففي التهجين الأول يكون في الذرية أرجواني سائد وأبيض متنح معاً رر)؛ ولما كان الأرجواني سائداً، يكون اللون الفعلي للنبات هو الأرجواني. وإن أجيال النباتات الأرجوانية الأولى هذه تنتج الآن نوعين من حبوب اللقاح أو البويضات: تلك التي تشتمل على الصفة الأرجوانية السائدة (ر) وذات الصفة المتنحية البيضاء ر). وتعطي هذه أربع توليفات مستطاعة. وتخرج الثلاث الآتية منها أزهاراً أرجوانية: رر، ر ر، ر ر، والرابع ر ر يكون أبيض، فالنسبة ٣: ١ هي النسبة المكتشفة في التجربة الفعلية.

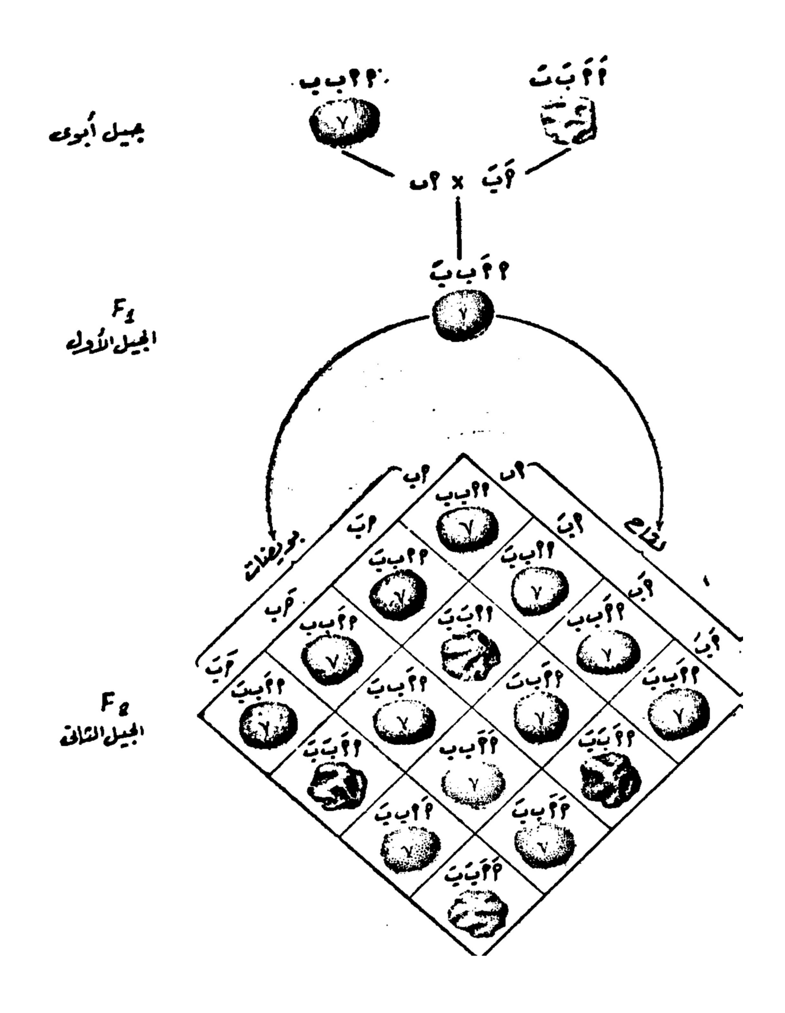


شكل ١١– قانون مندل الأول، أو قانون انعزال الصفات لعوامل الوراثة الأرجوانية، ر للون زهرة بيضاء. ترمز الدوائر السود والدوائر البيض للأزهار الأرجوانية والبيضاء على التوالي (من س. ب. أنفينسن بعد ت. دوبزهانسكي).

وإذا أبدلنا الآن فكرة الكروموسومات المزدوجة، وهجنا بازلاء متشابهة اللاقحات ذات لون أرجواني سائد مع بازلاء متشابهة اللاقحات ذات لون أبيض متنح، أمكن لنا أن نرى بوضوح أن تجربة مندل هذه متمشية تماماً مع

قواعد سلوك الكروموسومات التي وصفناها منذ فترة قصيرة. وهذا أكثر وضوحاً في تجربة ثانية بمندل أمكن تفسيرها على أساس وجود كروموسومين. ومن هذه التجربة استخلص مندل قانون التوزيع الحر، ويرجع السبب في التوزيع الحر إلى أن زوجي الصفات المختبرة يقعان على زوجين مختلفين من الكروموسومات. وكما رأينا الآن تتوزع الكروموسومات مستقلة في الأمشاج. ويمكن لنا الحصول على تشكيلة من التوليفات المختلفة شكل ١٢).

وقد خلط مندل باستعمال البازلاء مرة ثانية، سلالة نقية ذات بذور سفر ناعمة مع سلالة ذات بذور خضر مجعدة البذور. وتمشياً مع مبدأ السيادة، يظهر الجيل الأول ببذور صفر وناعمة؛ ولكن حين ربيت خلطاً أعطت أربعة أنواع من الذرية بالنسب الآتية: تسع صفر ناعمة؛ ثلاث صفر مجعدة؛ ثلاث خضر ناعمة، وواحدة خضراء مجعدة. وإذا تأملنا هذه النتيجة، إما من زاوية الصفات، كما فعل مندل، أو من زاوية زوجين من الجينات على زوجين من الكروموسومات، نرى أن البازلاء متشابهة اللاقحات الأبوية، الصفراء الناعمة كان لها صفة مميزة ى ى على زوج واحد من الكروموسومات و س س على الآخر، بينما البازلاء متشابهة اللاقحات، الخضراء المجعدة، كانت متنحية وبها ى ى و س س. وقد أعطى هذا التكوين الآتي للجيل الأول: ى ى على كروموسوم واحد و س س على الآخر. وحيث إنه يمكن لهذه الأزواج من الكروموسومات أن تتوزع مستقلة، فإن الأمشاج المستطاعة تكون على النمط الآتي: ى س، ى س، ى س، ى س. وبخلط جميع أنواع هذه الأمشاج نحصل على النسبة النهائية ٩: ٣: ٣: ١.



شكل ١٢– قانون مندل الثاني، أو قانون التوزيع الحر أ و أ تدل على الصفات الوراثية للونين الأصفر والأخضر، على التوالي، و ب و ب تدل على تلك البذور الناعمة والمجعدة الأصفر سائد على الأخضر والناعم سائد على المجعد (من س. ب أنفنسن بعد ت. دوبزهانسكي).

ولم يقتصر الأمر على أن عمل مندل الباهر الأساسي لم يكن معروفاً للعالم بعد نشره لبضع سنوات، بل أيضاً كانت دراسة بناء الخلية في مرحلة أولية في ذاك الوقت، حتى إن مندل نفسه لم يكن لديه أية صورة عن كيفية احتواء هذه الصفات داخل الخلية. وبعد اكتشاف قوانين الوراثة، بجانب تفاصيل الانقسام

الاختزالي، في أوائل هذا القرن ثبت أن اتجاهي الاستقصاء يعطيان معاً مشهداً واضحاً؛ أن أحدهما هو القاعدة الفيزيقية للآخر. وقد أدى هذا إلى نشاط جم في دراسة علم الوراثة، وحدث تقدم عظيم في الحال، بخاصة على يد ت. ه. مروجان ومعاونيه على ذبابة الفاكهة دروسوفيلا.

وكانت الخطوة التالية إلى الأمام هي إدراك أن النظام التناسلي الجنسي كان أبدع فيما يخص خلط الصفات أو توليفات الجينات مما كان يظن. ومن ناحية علم الوراثة تم الحصول على عدد كبير من الصفات الطفرية، وبتجارب التوليد أمكن إظهار أن الصفات إما أن تتوزع مستقلة أو لا، فإذا لم يحدث هذا، فإنها تكون على نفس الكروموسوم، ولما كان للدروسوفيلا أربعة كروموسومات فقط كان من المستطاع تجميع جميع صفاتها المميزة إلى أربع مجموعات ولكن حدث دورياً أن زوجين من الجينات المعروفة أنهما يقفان على زوج واحد من الكروموسومات توزعا مستقلين عن بعضهما على عكس كل ما هو معروف للآن.

والنظرية المفترضة لشرح هذا التحول الفجائي هي أن الكروموسومات تنشق بطريقة ما، كلا المفردين للزوج عند نفس النقطة. وتتشابك الأطراف المكسورة ثانية مع شريك جديد. وهذا الذي يدعي بالعبور يتضمن تبادلاً مشتركاً لقطع كاملة من الكروموسوم. وعلى المستوى التركيبي، فقد كان معروفاً أنه يوجد أثناء الانقسام الأول للانقسام الاختزالي التفاف لزوجي الكروموسومات معاً حتى يتلامسا عند نقطة متشابهة. وحتى إنه من المستطاع رؤية اتصالات عبورية عند أماكن يبدو أنها مرتبطة معاً تقريباً. ومن المعروف الآن أنه خلال عملية الازدواج هذه، يحدث العبور وتبادل القطع، حتى إنه خلال الانقسام الاختزالي الثاني، حين ينفصل زوجا الكروموسومات، قد تكون

الكروموسومات الجديدة فسيقسائية، أي مشكلة من أجزاء من كلا الكروموسومين الزوجين الأصليين (شكل ١٠).

وهذا في الواقع، نوع من الاختلاط المستفيض، إذ يوجد فيه كل من إعادة توليف جميع الكروموسومات من الجينات قائماً، وكذلك إمكان إعادة توليف أجزاء الكروموسوم. وبالإضافة إلى ذلك يظل احتمال حدوث طفرة لأي جين من الجينات. أي إن نظام التغير الذي رأيناه في حالة البكتيريا اللاجنسية قد فرض إلى أبعد الحدود على خلط الكروموسومات كمصدر إضافي للتغير.

وحين تطرح العملية على هذا النمط، تنطبع في النفس فكرة بأن الطفرة هي بالأصح شيء ثانوي. ولكنها في الواقع عامل ذو أهمية أساسية. ولما كانت الطفرة تعني تغيراً كيميائياً في بناء الجينات، فيجب أن يتم قطعاً جميع الرقي التقدمي بواسطة الطفرة، وكل ما يمكن عمله بواسطة إعادة التوليف هو خلط ما يعطي بالطفرة.

وتهيئ طفرة الجينات المادة الخام للتطور، وبإعادة التوليف تنظم هذه المادة بطرق مختلفة حتى يمكن للانتخاب أن يصل إلى أقصاه بتزويده بمتسلسلة كاملة من الترتيبات المستطاعة.

وتستعمل كلمة الطفرة لتعني أي ظهور فجائي لصفة مميزة جديدة (على عكس الكشف عن صفة متنحية كانت موجودة من قبل). وهذه تتضمن بطبيعة الحال نوع الطفرة الذي ناقشناه حيث يتغير جين بطريقة ما. ولكن توجد طريقة أخرى يمكن أن تتسبب في ظهور مميزات جديدة، وهذه تكون بترتيب الكورموسومات من جديد. والذي يحدث هو أنه أثناء الانقسام الأول للانقسام الاختزالي نجد بعض الأخطاء أحياناً. وربما تزاد قطع صغيرة إضافية من الكروموسوم أو يعكس جزء من الكروموسوم. وهذه الترتيبات الجديدة

للكروموسوم تنتج من نفسها مميزات جديدة. على ذلك يمكن إضافة طريقة أخرى غير الطرق المشار إليها آنفاً حيث يمكن للجهاز التناسلي أن ينتج تغيراً.

وهناك نظام آخر، على قرابة نوعاً ما، يوجد في النباتات فقط هذا هو زيادة الكروموسومات إلى الضعف، أو أربعة الأمثال، أو حتى أكثر من ذلك لكل مجموعة الكروموسومات. مثل هذا التضاعف الصبغي، كما يسمى، ينتج صفات جديدة، ومميزات جديدة غالباً ما تكون ذات فائدة في بيئة خاصة. وكثير من نباتاتنا الشائعة لها متغيرات بتضاعف صبغي. وليس من الواضح سبب ندرة هذه الظاهرة في الحيوانات، ولو أنه من المشكوك فيه أن يرجع هذا إلى أنها تنتج عدم توازن في الكروموسومات الجنسية – الكروموسومات التي تعين الذكورة والأنوثة. وهذا ينجم عنه في الحال عقم ذاتي لذرية الحيوان.

ومتى نظرنا بعين الاعتبار لجميع الطرق المختلفة حيث يمكن للجنسية أن تنتج متغيرات، لا يستغرب أن نظاماً غاية في الكفاءة يشتمل فقط على خلايا مفردة فالانقسام الاختزالي والإخصاب ما هما إلا عمليات خلوية)، يوجد في كل مكان في عالمي النبات والحيوان. وليس أدل على فائدتها في التطور من الاحتفاظ بها في التطور. وتصل أصابع الانتخاب الرقيقة إلى كل ركن في الكائنات الحية، والجهاز التناسلي هو واحد من أدق منجزاتها، دقيق لدرجة أنه يظل محتفظاً بنظام عمله، بدون أي تغيرات ضرورية حديثة، منذ أول تكوين الكائنات الخلوية، إن لم يكن قبل ذلك.

والتضمين الخفيف نوعاً ما، والمسلم به حتى الآن في هذه المناقشة لعلم الوراثة هو أن كل شيء أصبح معروفاً. ربما يكون من المفيد ولوضع الأمور في نصابها، أن نختبر نقطاً قليلة ذات أهمية خاصة في بحوث علم الأحياء الجارية الآن. والنقطة الرئيسية هي طبيعة الجين، وتقع بجانب ذلك مشكلة طبيعة الطفرة.

ومن أولى التجارب التي تعطي بعض المعلومات بخصوص الجين كانت لمورجان ومعاونيه حيث استطاعوا تحديد المكان التقريبي للجين ونظام الجينات التام مع الكروموسومات. وقد استغلت طريقة العبور، مع افتراض بسيط هو أن كمية العبور بين صفتين تتناسب مع المسافة بين جيناتهما على الكروموسومات. وقدرت كمية العبور بصنع تهجين يشتمل على صفتين معروف أنهما على نفس الكروموسوم. أي أنهما تتوزعان بطبيعة الحال مستقلتين ولكن تظلان سوياً. ولما كان العبور يشمل كسراً في الكروموسوم، فإذا كان هناك جينان بعيدان عن بعضهما، ازدادت مسافة البعد بينهما على كروموسوم واحد كلما أعطيت فرصة أكبر لحدوث الكسر في هذه المنطقة. وبهذه الطريقة أمكن عمل خرائط جينية لكل من الكروموسومات الأربع للدروسوفيلا وإظهار المسافة بين الجينات في وحدات العبور.

وفي أثناء إجراء هذا العمل، لحسن الحظ، اكتشف أن الغدد اللعابية ليرقات ذبابة الفاكهة بها نويات ضخمة غريبة منتفخة ذات كروموسومات عملاقية (شكل ١٥). وبمعالجة هذه الكروموسومات بحرص وصبغها بصبغة ملائمة، تتضح فيها سلسلة من الأشرطة . والخطوة التالية، حيث أجريت بعض البحوث الملائمة تشمل ضمن أشياء أخرى: ذباباً ذا شذوذات على كروموسوماته تقترن بصفات مميزة غريبة، كانت لتعرف أشرطة نوعية بجينات نوعية، ثم عمل خرائط جينية أكثر واقعية وبلا واسطة. وكان معروفاً أن أشرطة الكروموسومات اللعابية العملاقية ظهرت نتيجة ازدواج خيوط الكروموسوم السوي كلما تضخمت غدد الخلايا. لذلك كان من المفروض أننا سنجد في خيط كروموسومي واحد مجموعة من الانتفاخات، كل منها عبارة عن جين. وقد أدت هذه إلى الفكرة البسيطة التي يحاول علماء الوراثة أن يستأصلوها من

الكتب منذ ذلك الوقت) ألا وهي أن الصفات الوراثية تشبه حبات الخرز في خيط، إذ أنها تنتظم في نظام طولي ويمكن التعرف عليها بواسطة نتوءات مميزة.

وسرعان ما تحقق من دراسات علم الوراثة أنه، بدون شك، لابد وأن تكون هناك جينات أكثر من النتوءات المرئية، ولكن، على الأقل، ظلت فكرة أن الجين وحدة لا تتجزأ وحدة لإعادة التوليف) مسلم بها لوقت طويل. ولقد نشأت صعوبات حين اكتشف فجأة أن بعض الجينات كانت في الحقيقة مجموعات من جينات شديدة التقارب بعضها بالبعض الآخر، وأنه يمكن انشطارها بطرق شتى بواسطة العبور. لذلك، بينما لا يزال الرأي بأن هناك حداً أدنى لوحدة إعادة التوليف والتي تكون في النهاية غير قادرة على الانشطار أكثر من ذلك، يوجد كثير من الشك حول حجم هذه الوحدة وعما تحتويه. ومع ذلك يتابع علماء الوراثة هذا الموضوع بجد واضح، ومن أهم الدراسات دراسة س. بنزر على انشطار وحدات التوليف في فيروسات معينة لها كثير من الخصائص الوراثية للكائنات الراقية. وهنا تكون أصغر الوحدات التي لا تستطيع الانشطار أبعد من ذلك دقيقة واحدة – وربما يمكن مقارنتها بسلسلة جانبية من جويء حمض ديزوكسيريبونيوكليك **DNA** – بالرغم من أن هذا الاقتراح تخميني للغاية.

والطريقة الثانية لمعالجة موضوع الجينات كانت عن طريق دراسة للطفرة، وبخاصة بواسطة استعمال عوامل مثل الإشعاع وكذلك كيميائيات خاصة تسبب الطفرة بوجه نوعي. وقد ارتبطت هذه الطرق بالدليل الكيميائي على أنه من المحتمل كثيراً أن تتكون مادة الجين من حمض ديزوكسيريبونيوكليك، وهي مادة ذات استقرار كيميائي غير عادي. وقد ظهر، مثلاً، أن الكيميائيات الأخرى، كالبروتينات والكربوايدرات تتخلق ثانية باستمرار، وتستبدل داخل خلية، بينما

يظل حمض ديزوكسيريبونيوكليك غير متغير نسبياً، ويفترض أن هذا الاستقرار حيوي للوظيفة الوراثية لحمض ديزوكسيريبونيوكليك، إذ أنه باستمرار بقائها ثابتة قد تتمكن من الاحتفاظ بالمعلومات الوراثية كلها. وإذا حدث وأصبحت متغيرة، وإذا كان هناك بعض التغير الكيميائي، فيظن حينئذ أن هذا نوع من الطفرة. وحمض الديزوكسيريبونيوكليك مستقر إلى درجة ما ولكن ليس لدرجة عدم حدوث أي تغير فيه على الإطلاق. وأشعة رونتجن والإشعاعات الأخرى ترسل جسيمات سريعة الحركة تطلق داخل الخلية مثل الطلقات، وإذا أصابت جزءاً من جزيء حمض ديزوكسيريبونيوكليك، فلا يكون هناك أي سبب للتفكير في أنها لن تتمكن من أن تتسبب في تغير تركيبي في هذا الجزيء، ومسبب الطفرة الكيميائي يمكنه كذلك مهاجمة جزيء حمض ديزوكسيريبونيوكليك بطريقة ما ليحدث بعض التغير. وربما يظن أن الطفرة التلقائية هي نوع من خطأ، خطأ ربما حدث حين ازدوج الجزيء. ولكن في التحليل النهائي لن يعطينا هذا الامتحان للطفرة أي جواب كامل مخصوص ماهية الجين، وهي تقص علينا أنه، بالإضافة إلى الحقيقة بأن المادة الوراثية يمكن أن تتجزأ أجزاؤها بواسطة الانشقاق، وتعطي وحدات توليف ثانوي، يمكن لها كذلك أن تتغير في بعض الأماكن. وربما تسمى هذه الأماكن بوحدات الطفرة، ووحدات الطفرة يمكن أن تكون صغيرة، كما هي الحال في وحدات التوليف الثانوي.

ولكن الذي نريده حقيقة هو معرفة إذا كان هناك أي وحدة لإنتاج صفات معينة أم لا، وللإجابة على هذا لا نستطيع سوى التخمين فقط. وإذا كان حمض ديزوكسيريبونيوكليك هو المادة الوراثية، فنحن نعرف أن جزيئاته كبيرة جداً —كبيرة لحد أنه يبدو أن الجزيء الواحد من حمض ديزوكسيريبونيوكليك قد يساوي جيناً واحداً. وربما تصنع الكروموسومات من جزيء متصل أو كتلة من

جزيئات متصلة، وربما تنتج كذلك آثار الجينات بواسطة مناطق معينة لهذه الكتلة الجزيئية المسئولة عن تخليق مواد نوعية. وتتوافق هذه الفكرة مع كثير من الحقائق المعروفة الآن، ولكن مع ذلك، فهي محض افتراض لدرجة أنه يجب التفكير فيها بحذر شديد. وعلى أية حال فالفكرة القائلة بأن الجينات هي حرز في خيط، بالرغم من الصورة البسيطة البهيجة التي تبرزها، يجب أن تنبذ بدون شك.

وقبل أن نترك موضوع طبيعة الجينات، توجد ناحية أخرى ذات أهمية كبرى وتثير الاهتمام في الوقت نفسه. وتتلخص هذه الناحية في أن نظام أو وضع الجينات على الكروموسومات له تأثير على الصفات الناتجة. وهذا يتشابك تشابكاً وثيقاً مع اقترحناه حالاً. أي إن الكروموسوم هو ملاط متصل من مادة جينية وذلك لأن بناءها الإجمالي يبلغ في أهميته أهمية بناء أصغر أجزائها. وأحد البراهين الأولى على هذا استمد من أشكال مختلفة لانحراف الكروموسوم. فمثلاً، إذا كان هناك خطأ أثناء العبور، ووضع جزء من كروموسوم في مكان ما بنظام معكوس فسيكون هناك جمع الجينات، ولكن سيكون تتابعها معكوساً. وسيحدث هذا قطعاً تغيرات مورفولوجية، مثل العيون المبرقشة أو المختلفة الألوان، كما هي الحال في ذبابة الفاكهة دروسوفيلا البالغة، وربما يشاهد مثل آخر من جينات شديدة التقارب بعضها لبعض. فإذا كان هناك جينان متطفران، فلن يكون لهما من أثر غير إنتاج فرد مطفر، إذا كان هناك واحد على كل من الكروموسومين المتشابهين. وإذا كانا على نفس الكروموسوم (والكروموسوم المضاد خلو منها)، فستكون النتيجة فرداً طبيعياً ليس به أي أثر للصفة المطفرة. وهذا يؤكد مرة ثانية الفكرة بأن التركيب الإجمالي للكروموسومات، أي الأوضاع النوعية للأجزاء، هو في أهميته كجميع الأجزاء نفسها.

وهناك دليل آخر مختلف اختلافاً طفيفاً، غير أنه يؤدي إلى استنتاج متشابه. فليس لجميع الجينات تأثيرات بسيطة، مثل إنتاج بذور صفر أو خضر. فالمعروف، في الواقع، أن بعضها يؤثر على عمل جينات أخرى إما بإسراع أو تقليل تأثيرها. لذلك فالجينات لا تعمل بالضرورة كوحدات منفردة، ولكنها تعمل في وفاق، جاعلة بعضها يعدل تأثير البعض الآخر. ويوجد هناك كذلك دليل على جينات يمكن أن تؤثر على معدل الطفرة التلقائية ومدى العبور، أي جينات تؤثر على مقدار التغير. والجينات بدورها، ربما لا يكون لها تأثير واحد بل أكثر، وغالباً ما تكون على أجزاء مختلفة من الكائن. والتركيب الوراثي أو الشفرة للكائن الحي ما هي إلا مجموعة معقدة متشابكة من التوجيهات وليس بالقائمة البسيطة لمقررات لا ترتبط ببعضها البعض.

ومن المناسب عند هذه النقطة أن نتأمل المعلومات المستمدة من علم الوراثة التي استعرضت هنا لنرى كيف تتمشى مع ما نعرفه عن التطور، ومن الإنصاف أن نقول إن التقدم الأعظم في العشرين عاماً الماضية في دراسة التطور كان بتطبيق مبادئ علم الوراثة، وقد استفاد علم الوراثة فائدة عظمى من هذا الاندماج لهذين الحقلين. وكما أشرنا من قبل، فهذه كانت الثغرة الكبيرة في معلومات داروين، ولكن هذه الثغرة قد قضي عليها الآن.

ولنبدأ بحقيقة قد ذكرت الآن وهي أن الجينات يمكن أن تؤثر على مقدار التغير. وقد حرصنا هنا على أهمية تأكيد أن الجنسية وما يتبعها من التوليف الوراثي الثانوي إنما يحافظ عليه بالانتخاب، وذلك لأن نظام غاية في الكفاءة لإنتاج ذرية متغيرة لدرجة عالية. وهذا، بالطبع، حقيقي لكن من السهل أن نرى أن هناك بعض أخطار للتغير الكثير جداً. والتطرف هنا غير صالح تماماً كعدم التصنيف على الإطلاق. وقد يعني هذا أن كل مرة ينتج عنها متغير ناجح في

الانتخاب، سوف يقضي عليه بزيادة التغير الطفري والتوليف التكاثري. ويجب أن يوجد توازن، حتى يكون هناك إمكانيات جديدة للانتخاب، ولكن إذا أدركت هذه الإمكانيات مرة فيجب عدم إزالتها. ولذلك، فيجب أن تكون درجة الطفرة والتوليف الثانوي تحت التحكم الوراثي، حتى يمكن لها أن تصل لمستوى أكثر كفاءة بالانتخاب.

ولا تحتاج جميع الكائنات التي تعيش تحت ظروف مختلفة إلى نفس مقدار التغير، لأن هذا سيحدد بعدد من العوامل، فمثلاً، إذا كان كائن ما يعيش في بيئة لا تتغير، كالمناطق المدارية، فإن ذريته ستواجه إذا مشاكل مناخية متشابهة طوال العام. والحيوانات والنباتات في المناطق المعتدلة تقاسي تغيرات موسمية عنيفة. وهذه حالة مبسطة إلى حد ما، ولكن مع ذلك فربما تجد الكائنات في المناطق المدارية أن إفراط تغيرها للتكيف المناخي ما هو إلا خسارة إن لم يكن خطراً، بينما في المناطق المعتدلة تحتاج الكائنات إلى ذلك لمقابلة الظروف المختلفة. وربما وجدنا طريقة أفضل لمعالجة الموضوع، هي القول بأنه حين تكون البيئة غير متقلبة، والنبات أو الحيوان مكيفاً تكيفاً جيداً، فإنه يكون من المستحسن الابتعاد عن المقامرة والتمسك بالمكاسب التي تعود عليها من تقليل التغير. وإذا كان لكائن من الناحية الأخرى، أن يبقى ويتغلب على كارثة ما، فإن ذلك سيكون أكبر يسراً إذا كانت له المقدرة على إنتاج ذرية متغيرة بدرجة عالية.

وإذا نظرنا للأمر من زاوية تاريخ التطور، فإن أي فترة من فترات التجارب حيث نرى عدداً من التفرعات الجانبية في أماكن بيئية مختلفة مناسبة هي فترة تزداد فيها قابلية التغير والتشعع التكيفي السريع. وهذه بكل تأكيد كانت هي الحال لطيور البراقش الأصلية التي وصلت إلى جزر الجالاباجوس. وعلى

النقيض، فإذا كان لدينا تطور في خط مستقيم حيث يكون هناك تدرج تقدمي، كما في تطور الحصان فإننا نتوقع إذن انخفاضاً في درجة التغير.

ولنتجه الآن للطريق الذي يتحكم في قابلية التغير. وقد رأينا من قبل أنه توجد هناك طريقة مباشرة يتحكم فيها الجين على مقدار الطفرة ومقدار التوليف. وبما أن الجينات قابلة للانتخاب لها أو ضدها، فهذه طريقة سهلة للانتخاب من أجل درجة التغير. وفي الغالب، يجب أن يكون تنظيم معدل الطفرة وإعادة توليف الكروموسومات هي الطرق التي تتبع، ولو أنه من حين لآخر نرى طريقة أكثر جذرية من ذلك، هي جذرية لأنها تثبت الكائن، ولأنها غير قابلة للانعكاس، فربما تمنع جمع التغير مستقبلاً. وتتلخص في أنه عندما يجد كائن ما بيئة ملائمة مناسبة خاصة، فإنه يستطيع بعد ذلك أن يكف عن التكاثر التناسلي كافة ويتكاثر لا جنسياً. وبمعنى آخر إذا اهتدى إلى فردوسه مرة، فسيستقر إلى الأبد، ويقطع طريقته الوحيدة لأي تقدم مستقبلاً؟ وسيظل بدون تغير ومستقراً ما دام يوجد الفردوس، ولكن سيكون مثلاً غير مستعد لمواجهة مجيء عصر جليدي. وتوجد طرق متعددة حيث يتوقف التكاثر الجنسي ويحتفظ باللاجنسي.

وفي كثير من النباتات السفلى وحتى في الراقية توجد وسائل منفصلة للتكاثر اللاجنسي، ففي حالة إبطال طريقة التكاثر الجنسي، تحل هذه محلها إلى الأبد. فمثلاً في حالة حشيشة الجاموس. التي تغطي كثيراً من سهول المناطق الغربية للولايات المتحدة وهي بكل تأكيد ناجحة ومتكيفة جيداً، يتكاثر النبات بواسطة التكاثر الخضري، وذلك بإخراج مدادات تنبت منها نبتات جديدة وفي الحيوانات التي ينقصها أي وسيلة للتكاثر اللاجنسي يوجد تكاثر بالتوالد البكري، أي، إن البيضة تنمو، بدون إضافة الحيوان المنوي، وهكذا يستخدم

الجهاز التناسلي، ولكن بدون عملية الجنس، وبدون الإخصاب وإعادة التوليف ويحدث ذلك في عدد من الحشرات، مثل حشرة المن.

وتوجد كذلك حالة بنية مثيرة للاهتمام، حيث يتكاثر كائن بالتوالد البكري أولاً جنسياً أثناء أشهر الصيف، حيث تكون الظروف غير متقلبة، ولكن عند نهاية الخريف يظهر طور نهائي للتكاثر، وهو طور جنسي. وغالباً ما تنمو البيضة المخصبة إلى جسم يصمد للجو ويحتفظ بحيويته خلال فصل الشتاء، وحين يجيء الربيع يكون أمامه فرص جديدة، وحينئذ ينمو وتتكون الذرية القابلة للتغير وذات التوليف الثانوي، وربما يتلاءم بعضها مع البيئات الجديدة.

وهناك طريقة أخرى أقل تطرفاً لتقليل التغير من طريقة التكاثر اللاجنسي، وهي السماح بالتزاوج العائلي. والتزاوج العائلي كما هو مشاهد مثلاً في تزاوج الأخ والأخت سوياً، يميل لتقليل التغير، ومع أجيال متعاقبة لمثل هذا التزاوج العائلي، ربما تتماثل الجينات لجميع الأفراد متشابهي اللاقحات)، وهذا حقاً خط نقي للسلالة، وكثير من النباتات وبعض الحيوانات خنثى، أي تجمع الأعضاء الذكرية والأعضاء الأنثوية التناسلية معاً؛ وإذا أخصبت بنفسها ذاتياً، فيكون للنتاج والد واحد، وستحقق تناسقاً وراثياً كاملاً، وتشابهاً في اللاقحات بطريقة أسرع.

وربما تكون الحالة المضادة أكثر إثارة للاهتمام حيث يوجد تركيب آلي متقن للاحتفاظ بالتوالد الخلطي، وإذا، يحتفظ بدرجة معقولة من التغير. ومضار التوالد العائلي أن الجينات الرديئة المتنحية ربما تظهر، وتؤدي إلى إنتاج ذرية شاذة غير سوية. والعكس بالطبع متساو في الاحتمال، وربما أدت الجينات المتنحية المرغوب فيها إلى ذرية جيدة استثنائية. وجياد الساق تتزاوج عائلياً بواسطة رجال تربية الحيوان، وذلك لمحاولة حفظ الصفات الوراثية المتنحية

الجيدة وإزالة الرديئة.

وتوجد في النباتات أكثر الوسائل إتقاناً لضمان التزاوج الخلطي، والسبب في هذا يقع جزئياً في أن عدداً كبيراً من النباتات خناث، ويجب أن تؤمن ضد الإخصاب الذاتي، وحتى تلك التي فيها ذكور وإناث منفصلة فهي ليست متحركة، ولذلك، فهي تحت رحمة الريح، أو الحشرات للتلقيح غير الخلطي. وإذا كان التوالد الخلطي ذات ميزات انتخابية، فإن مشكلة منع تزاوج الأخ والأخت ليست ذات بال وهناك تشكيلة من الطرق، أبسطها طريقة التوقيت، ففي أي نبات خنثي إذا كان نضج حبة اللقاح والبويضة في أوقات مختلفة، فلن يحدث إخصاب ذاتي. والطرق الأخرى كيميائية، إذ لسبب أو لآخر يحدث عدم توافق بين حبة اللقاح للنبات والنسيج الخاص الموجود حول المبيض، حتى إن حبة اللقاح لا تتمكن بسهولة من الاختراق إلى داخل المبيض. وقد درس هذا بعناية في عدد من الحالات، وأمكن تحديد الطبيعة العامة للتفاعلات الكيميائية. وفضلاً على ذلك فقد عرفت كذلك الجينات التي تتحكم في التصدي الكيميائي، وتتوافر الآن معلومات شتى عن وراثيات منع الإخصاب الذاتي.

ولا يبدو ان للحيوانات مثل هذه الطرق المتقنة لتوفير التوافق الكيميائي إلا في مجموعات قليلة، مثل الحيوانات الأسيدية (بخاخ البحر أو الغلاليات، حيث تشبه النباتات في كونها خناثاً لا تستطيع الحركة. ويبدو أنه إذا كانت الكائنات قادرة على الحركة وبها ذكور وإناث منفصلة، فستنخفض أتوماتيكياً فرصة تزاوج الإخوة والأخوات، وربما يكون في بعض الحيوانات طابع سلوكي، مثل الانفصال الطبيعي، أو تشتت أفراد الحضين الواحد قبل النضج الجنسي، ولكن في معظم الحالات لا يوجد نظام خاص، ولكن مجرد توزيع عشوائي للأفراد عن طريق الانتقال. وهذا يعني أن فرصة التزاوج العائلي لا تزال قائمة،

ولكن لدرجة تكاد تكون مهملة.

وعلى هامش ذلك يجب أن نضيف ملحوظة اعتراضية خاصة بالإنسان. فلا يوجد لدى البشر نظام كيميائي وراثي لمنع تزاوج الأخ والأخت، كما أنه لا يوجد أي سبب نفساني أصيل أو أي أسباب غريزية (لحد معلوماتنا)، ما عدا الموانع التي أقيمت على أساس اجتماعي قوي. وفيما عدا بعض العائلات الملكية، كالبطالسة مثلاً، يحرم تزاوج الأخ والأخت في جميع المجتمعات البشرية ابتداء من الأكثر بدائية إلى الأكثر تقدماً. ولكن هذا أمر مختلف تمام الاختلاف عن الطريقة الوراثية لضمان الإخصاب المختلط، وسيتاح لنا في فصل قادم، وقت لفحص الاختلافات بين الميراث التكويني والثقافي بدقة أكثر. والشيء المثير للاهتمام هنا هو أنه ولو أن التزاوج المحرم ينتج بآلية مختلفة تمام الاختلاف إلا أنه يخدم نفس وظيفة منع التوالد العائلي، معطياً عدداً كبيراً من الجينات الإضافية، وذلك بحفظ الأفراد متبايني اللاقحات، وبهذه الطريقة تحتفظ الجماعة بقابليتها للتغير ليكون في الإمكان حدوث اختيار طبيعي.

وقد رؤي في الطريق الذي اتبعناه حتى الآن أن التغير الذي لا يمكن بدونه أن يتم التطور، يمكن أن يفهم بالرجوع إلى الجينات وسلوكها داخل كروموسومات الخلايا. وبالإضافة لمحاولة حصر القليل الذي نعرفه عن طبيعة هذه الجينات، فحصنا أيضاً الجهاز التناسلي الجنسي وتشعباته المختلفة لنرى كيف تعالج التغيرات وكيف تنتقل. ويأتي بنا هذا للمرحلة الأخيرة من مناقشاتنا لموضوع علاقة الوراثيات بالتطور، وفي هذه المرحلة يجب ألا نفكر في آلية التطور بالرجوع إلى تغيرات تركيبية أو وظيفية، كما فعلنا في الباب السابق، بل يجب التفكير فيها بالرجوع إلى تغيرات حقيقية داخل الجماعة.

وهذه دراسات رياضية في الأصل ونبعث من التخيلات الباهرة لكل من

ج. ب. س. هولدين، ور. أ. فيشر، وسيول رايت ولن ندخل هنا في أية محاولة حتى لإدراك الدعامة الرياضية، ولكن من المستطاع إعطاء صورة كلامية سهلة لطريقة بعض نتائج الدراسة المسماة بوراثة الجماعة.

علينا أولاً أن نفترض أنه يوجد في الجماعة تزاوج خلطي غير مقيد. وسوف لا نتوقع مما قد ذكرناه الآن. بخصوص التزاوج الخلطي أن جميع الأفراد في الجماعة لها نفس الجينات، بل على العكس من ذلك تماماً، نتوقع وجود تشكيلة كبيرة لتكوينات وراثية مختلفة. ومهما يكن، بدلاً من اعتبار الجينات لأي فرد، فيمكن لنا أن نأخذ في الاعتبار المجموع الكلي لأنواع الجينات المختلفة في الجماعة كلها وتعدد وجودهم. وهذه الكتلة من الجينات في مجموعها هي وعاء الجينات. وإذا قدر للجماعة أن تتغير تغيراً تطورياً، فيمكن فهم ذلك على أساس أن هناك انزلاقاً في تكوين الوعاء الجيني.

فما هي العوامل التي تؤثر على هذا الوعاء الجيني؟ إن أكثرها وضوحاً هو معدل الطفرة، ويمكن إعطاء كل جين قيمة معينة، بالنسبة لاحتمال ظهورها في المجموعة. وعامل واضح آخر هو ضغط الانتخاب لجين معين. فإذا كان الجين ذا فائدة في بيئة خاصة، فسيحتفظ به، ودرجة الاحتفاظ به يمكن أن تعطي قيمة معينة. والانتخاب السلبي، أي، استبعاد الجينات، يمكن معالجته بنفس الطريقة، وحجم الجماعة هو عامل آخر ذو أهمية عظمى، وهو بدوره سيؤثر على نتائج الطفرة والانتخاب في معدل انتشار أي جين خاص.

ولنضرب بعض الأمثلة: إذا كانت الجماعة صغيرة ومعدل الطفرة كبيراً، أمكن لجين جديد أن يغزو الجماعة في وقت قصير، بينما يتطلب ذلك في مجموعة كبيرة وقتاً أطول بكثير، ومن ناحية الانتخاب، إذا كانت الجماعة كبيرة، يصنع الانتخاب تغيرات في تعدد الجين بمعدل بطئ، بينما يكون التغير سريعاً في

جماعة صغيرة. وغالباً ما يكون الأمر أكثر تعقيداً لوجود تقلبات في حجم الجماعة، وفي حالات قصوى، كحيوانات الليمنج الشمالية، هناك دورة محددة للتقلبات، ولذلك، فتأثير الانتخاب والطفرة كعوامل للتغير سوف تتقلب أيضاً بدورها.

وعامل آخر يؤثر على وعاء الجينات هو تحركات الكائنات.

ويتحقق ذلك بسهولة في الحيوانات، حيث يمكن لها التجول بحرية بأجهزتها الحركية جيدة التكوين. ولكن في النباتات المثبتة في الأرض بواسطة الجذور تكون الحركة من منطقة إلى أخرى أمراً صعب المنال. وتستطيع بعض النباتات أن تتجول عن طريق بذرتها المحمولة في الماء (مثل جوز الهند أو بالريح مثل الجعضيض) أو بواسطة الحيوانات التي تبتلع البذور وتخرجها كاملة كحالتها الأولى في بقعة بعيدة ما بعد مرورها خلال القناة الهضمية).

وفيما يخص أمر التلقيح، فإن الريح والحشرات، وحتى الطيور في بعض الأحايين تلقح النباتات الموجودة على مسافات شاسعة من بعضها البعض تلقيحاً خلطياً. وكل هذا يساعد على نقل الجينات من ناحية لأخرى في الجماعة أو حتى من جماعة إلى أخرى.

وقد كان من المستطاع في المعمل، وإلى حد ما في الطبيعة، أن تختبر النتائج الرياضية المتوقعة لتفاعلات جميع هذه العوامل، وقد كان التوافق إلى هذا الحد جيداً. وإحدى الطرق المستخدمة في المعمل هي استعمال صناديق الجماعة. فبعض ذباب الفاكهة ذو تكوين وراثي معروف يوضع في الصندوق ويحفظ لفترات طويلة من الوقت. وكل ما يفعل لها هو تزويدها بطعام جيد كل بضعة أيام قليلة، حتى تتمكن من إنتاج صغار وتكون سلسلة من الأجيال. والبيئة هنا غير متقلبة والتزاوج الخلطي عشوائي، ولذلك فمن الممكن متابعة أثر

الانتخابات في هذه البيئة الخاصة متابعة دقيقة. وإذا ظهرت طفرات جديدة، أمكن الاستدلال عليها وتحديد مدى نجاحها. والفحص التجريبي للتعميمات الرياضية حول التغير الوراثي في جماعة ما ربما لا يبدو كتقدم كبير في معلوماتنا، ولكنه يوضح أن فهمنا للقواعد الوراثية للتطور سليم وحقيقي.

وإذا كانت هذه هي الحال، فقد بقيت أمامنا مشكلة واحدة كانت متعبة للكثيرين في الماضي ويجب أن نشير إليها هنا باختصار، وهي أن الأغلبية العظمى للطفرات التي تظهر في المعمل أو في الطبيعة ذات أثر ضئيل جداً، حتى ليظن أنها لا تبين أسباب التغيرات الكبيرة التي نلاحظها في التطور الإجمالي للحيوانات والنباتات. ولدينا في حالة ذبابة الفاكهة طفرات تؤثر على لون العين، وعدد الأشواك، وشكل الجناح، الخ، وهذه كلها تغيرات يمكن إهمالها. أما ما له علاقة بهذه المشكلة فهو الصعوبة في أن أغلبية المطفرات يظهر أنها خطوات رجعية لا خطوات تقدمية. وغالباً ما تشتمل على فقد بعض أبنية. وبجانب هذا! يجب أن نتذكر أن أكثر أنواع الطفرة ذيوعاً هي الطفرات "المميتة" أي إنها تؤدي إلى موت الذرية موتاً مبكراً.

ولا يمكن أن توضع إجابات قاطعة لهذه الصعوبات، ولكن في الإمكان فقط عرض مناقشة معقولة لكي نرى أنه من المحتمل ألا تكون هناك صعوبات على الإطلاق. ففي المقام الأول ربما نتوقع حدوث تغير بواسطة زيادات صغيرة، وإذا كان عندنا ما فيه الكفاية من هذه التغيرات عبر ملايين السنين، أمكن أن تكون التغيرات النهائية كبيرة جداً. وإذا كان للتغيرات أن تأخذ خطوات كبيرة، فإن الفرصة تكون عظيمة في أن هذه الخطوات الكبيرة سوف تنتج بعضاً من عدم الاتزان في الذرية الناتجة وهو الذي يتسبب في موتها. والجهاز الداخلي للكائن الحي دائماً في حالة توازن دقيق حتى إن أي تغيرات

قابلة للاحتفاظ بالحيوية يجب أن تكون صغيرة. وكثرة الطفرات المميتة حقيقة تدعم هذه النقطة، إذ ربما تكون طفرات رئيسية، ولكن في نفس الوقت، تقلب الميزان الداخلي ولا يمكن الإبقاء عليها. ويرى بعض علماء الأحياء أن الثغرات الرئيسية بين الشعب، أو حتى بين الطوائف، قد حدثت بقفزات طفرية كبيرة جداً. ويفترض هؤلاء حدوث طفرة عظيمة منذ زمن بعيد، بصفة خاصة، وأنها كانت قابلة للاحتفاظ بالحيوية فبقيت. وهذا الفرض أيضاً لا يوجد ما يبرر استبعاده، والجدل الوحيد المضاد لذلك، والذي يمكن إبرازه بطريقة فعالة، هو أنه ليس من الضروري قيام مثل هذا الافتراض. إذ أن في إمكان الزيادات الطفرية الصغيرة أن تسد الثغرات الموجودة بين المجموعات المختلفة، وإن لم تكتشف حفريات الأشكال البيئية القليلة. وربما ليس من المهم أن نقرر إذا كانت هذه الطفرات "العظيمة" قد حدثت أم لم تحدث، ولكن يبدو أن من المهم ألا ننسى افتراض أن التطور كما حدث فعلاً على الأرض يمكن أن يحدث بدون هذه الطفرات العظيمة.

وبخصوص السؤال عن كون أغلبية الطفرات رجعية أكثر منها تقدمية، فقد نبه هولدين إلى أن كثيراً من الطفرات هي طفرات سلفية. أي إن الشكل المطفر يرتد إلى الخلف إلى الصورة الأولية. وإذا كان هذا هو الذي يحدث، فيجب أن تكون إحدى هاتين الخطوتين (الطفرة الأصلية وارتدادها لحالتها الطبيعية قفزة إلى الأمام. وبالطبع، ربما لا نزال نجادل في أن هذه الخطوة إلى الأمام ترجعنا فقط إلى خط البداية، ولكن يمكننا أن نتوجه إلى أمثلة أخرى. ففي اختبارات المعمل في صناديق الجماعة وفي الطبيعة ظهرت طفرات جديدة تقدمية، بمعنى أنه كانت هناك حاجة لها وكانت موضع الانتخاب، والفراشات السود في المناطق الصناعية لبريطانيا وأجزاء أخرى لأوروبا هي أمثلة مضبوطة. ومثل آخر هو

الطفرة التي تسمح بنمو البكتيريا في وجود البنسلين، ونستطيع أن نذكر أمثلة أخرى كثيرة. ولكن سيقول المرتابون ثانية أن هذه تغيرات طفيفة – وماذا بخصوص التغيرات التي أدت إلى ظهور شيء هام كعين الحيوان الثديي؟ ودائماً ما يقدم هذا المثل. ذلك لأنه يرد بأن التحسينات لابد وأن تضع قبل التمكن من تحقيق أي تكوين لصورة ما، وقبل أن تظهر في الطلائع المبكرة للعين ميزات انتخابية، وأنه يجب أن تكون قد نمت بطريقة غامضة لحد ما، حتى أدت في النهاية إلى الهدف الكامل، وهو العين الوظيفية. واحتمال أن هذا هراء هو احتمال كبير جداً، وذلك لأننا إذا نظرنا إلى أعضاء أولية تستقبل الضوء، والتي تساوي العيون البدائية، الموجودة في بعض اللافقاريات في الوقت الحاضر، وجدنا أنها متلائمة حتى بالرغم من أنها بسيطة، ومن الواضح أن استمراريتها تدوم بواسطة الانتخابات. ولذلك فالرأي بأن عيون الثدييات اجتازت فترة لم تكن متلائمة فيها في أثناء استعدادها للوصول لهدف مستقبل، وأنها حفظت على حالتها بواسطة قوة ما غامضة، يبدو أنه بكل تأكيد فرض غير ضروري وغير مفيد. ويمكن شرح جميع حقائق الموضوع على أساس الفرض الذي نفترضه هنا: سلسلة من خطوات صغيرة تتحكم فيها جينات أو خطوات طفرية بحيث تكون كل خطوة تلاؤمية وتحت حكم الانتخاب الطبيعي.

ويحتاج هذا الرأي من جانبنا إلى نوع خاص من الصبر على الحوادث الماضية، فهو ليس بالمعقد، وينقصه الغموض، ولكن مع ذلك، هو فرض أكثر معقولية وسيظل مقبولاً حتى نجد فرضاً أفضل منه.

الفصل الرابع

التكوين

لا يمكن أن تكون مناقشة التطور، ولا مناقشة علم الوراثة كاملة بدون مناقشة التكوين، فالموضوعات الثلاثة ترتبط بعضها ببعض ارتباطاً وثيقاً، وكل واحد منها هو في الحقيقة جزء من الآخر. ويتحقق التطور بانتخاب جينات تمثل كل جيل في تنظيمات متغيرة تنتج أصلاً عن عملية التناسل الجنسي. والتكوين هو الفترة في تاريخ حياة فرد حين تعمل الجينات، وتنقل تعليماتها للفرد. ولذلك، فإذا كان جين مسئولاً عن صفة قصر الأجنحة في ذبابة الفاكهة أو بعض الأشواك الإضافية، فحينئذ تمر التعليمات الخاصة بهذه التغيرات إلى الكائن أثناء فترة التكوين. فالنمو يترادف مع عمل الجينات.

ومن الوهلة الأولى، ربما يبدو شاقاً، أن كل كائن كبير، كالإنسان أو الشجرة، يبدأ كبيضة دقيقة، ويكابد ليجتاز جميع التغيرات الهائلة للتكوين، متقدماً ببط نحو حالة البلوغ. أليس كل هذا التحول في كل جيل أكثر مشقة مما يستدعيه الأمر؟ ألم يكن من السهل للبالغ ان ينشطر بطريقة ما إلى اثنين، وحينئذ يكون كل ما يحتاج إليه الأمر هو قليل من النمو للرجوع ثانية إلى الحجم الأصلي؟ ولدينا الآن المفتاح، لمعرفة عدم إمكان حدوث هذا.

وهذا بالطبع، هو ما يحدث تماماً في الكائنات وحيدة الخلية. ففي اليوجلينا. مثلاً، يوجد انقسام غير مباشر وانشطار في الخلية. وببساطة ترجع كل خلية بنوية إلى حجمها ثانية بواسطة الاغتذاء وتحصل على طاقة. ولكن، كما

رأينا، كان هناك ضغط انتخابي لزيادة حجم الأفراد وذلك أثناء التطور، أي، إنتاج كائنات متعددة الخلايا، وفي نفس الوقت، أكدنا أن أحد الشروط الأساسية لأي تقدم تطوري بأي شكل، هو الجنسية.

وفضلاً عن ذلك، فالنظام الجنسي، بانقسامه الاختزالي والإخصاب، هو عملية خلية مفردة. وهو يخص نواة واحدة من كل والد، تحتوي كل منهما على العدد الأحادي للكروموسومات، وتندمجان لتكونا النواة الزوجية، التي هي بداية الجيل القادم. والجنسية بكل توليفاتها الكروموسومية الثانوية، التي هي حيوية للغاية لإنتاج التغير، لا يمكنها العمل بأي طريقة أخرى.

لذلك، فمن الواضح أن الانتخاب يعمل في اتجاهين في آن واحد: فهو يخدم كلا من الأفراد الكبار، والخلايا المنفردة التي تلزم للجنسية، والحل الوحيد، هو أنه يجب أن تكون إحدى مراحل تاريخ الحياة صغيرة، والأخرى كبيرة، وبين هاتين الاثنين يكون هناك تكوين. فالتكوين، إذا، هو النتيجة الحتمية للجنس، والحجم. وحتى يكون التكاثر الجنسي غير موجود لسبب ما، يكون للتكاثر اللا جنسي دور صغير.

وغالباً ما تكون هذه ميزة في الانتشار، وكثير من الأبواغ اللاجنسية دقيقة، وتنتقل بسرعة، بالريح أو بالحشرات المارة. وبمعنى آخر ربما يكون من المستحسن أن نضع الصياغة الأكثر شمولاً، وهي أن التكوين هو النتيجة الحتمية للتكاثر والحجم.

ويتضمن هذا، أن التكوين مقصور على طور بين الإخصاب والنهاية العظمى للحجم. وهذا هو التعريف المعترف به للتكوين، ولكن ذلك يختلف تماماً عن تعريفنا السابق، إن التكوين هو فترة فعل الجينات. وفي استطاعتنا التوفيق بينهما بقولنا: إن التكوين هو الفترة التي تكون فيها الجينات أكثر

نشاطاً، ولكن لست متأكداً أننا بهذا التصرف لا نهمل نقطة هامة. وتوقف النمو ربما لا يكون حداً ذا مغزى واضح لأنه توجد تغيرات هامة بعد هذا الحد كما كانت الحال من قبل. وفضلاً عن ذلك، فربما لا يكون التوقف في لحظة فجائية واحدة، ولكت ربما يحدث في أوقات مختلفة في أجزاء مختلفة من كائن، كما هي الحال في جميع الحيوانات الراقية. وتلوح مشكلة أكبر في حالة النباتات الراقية، حيث لا يتوقف النمو. ويوجد برهان حسن، مثلاً، أن تستمر أشجار السكويا **Sequoias** الضخمة في النمو، وأن الشيء الوحيد الذي يحدد حجمها هو أنها تتضخم في النهاية لدرجة تعرضها للسقوط أمام قوة الريح.

وربما يكون أكثر واقعية، إذا عاد لنا التكوين، مع تاريخ الحياة. وهذا يشبه المشكلة القديمة في علم المنطق عن تعريف الفرد، فغالباً ما يعرف الفرد ككائن (ويجب أن يكون بالغاً) في برهة من الزمن. ومن وجهة النظر المنطقية، ففكرة اعتبار الكائن في فترة خاصة من الوقت، يبدو مربكاً، ويكون من المستحسن اعتبار الفرد كمجموع لجميع التغيرات، ابتداء من البيضة المخصبة إلى الممات. وحينئذ يكون هذا التعريف للفرد مشابهاً تماماً للتعريف الذي نقترحه للتكوين.

والدليل على أن الجينات تعمل طول تاريخ الحياة بأجمعه ممتاز. ومن دراسات الوراثيات توجد جينات تؤثر في انشطار البيضة المخصبة، وجميع المراحل المبكرة للتكوين. وتوجد جينات، مثل خصاب العين، في الدروسوفيلا، تعمل تماماً كما يعمل النضج حين يوشك أن يتم. وتوجد جينات تعمل في المراحل النهائية لحياة الحيوانات، وذلك بعد تمام الأطوار الرئيسية للنمو (كالصلع عند الإنسان). وحتى الشيخوخة، هرم الجسم الذي يزيد الميل نحو الوفاة، هي في حد ذاتها نتيجة لنشاط جيني، وبناء على ذلك نتيجة انتخاب. وكما نعرف لا توجد للآن أي فترة لتاريخ الحياة، ولا أي تغيرات في تاريخ الحياة

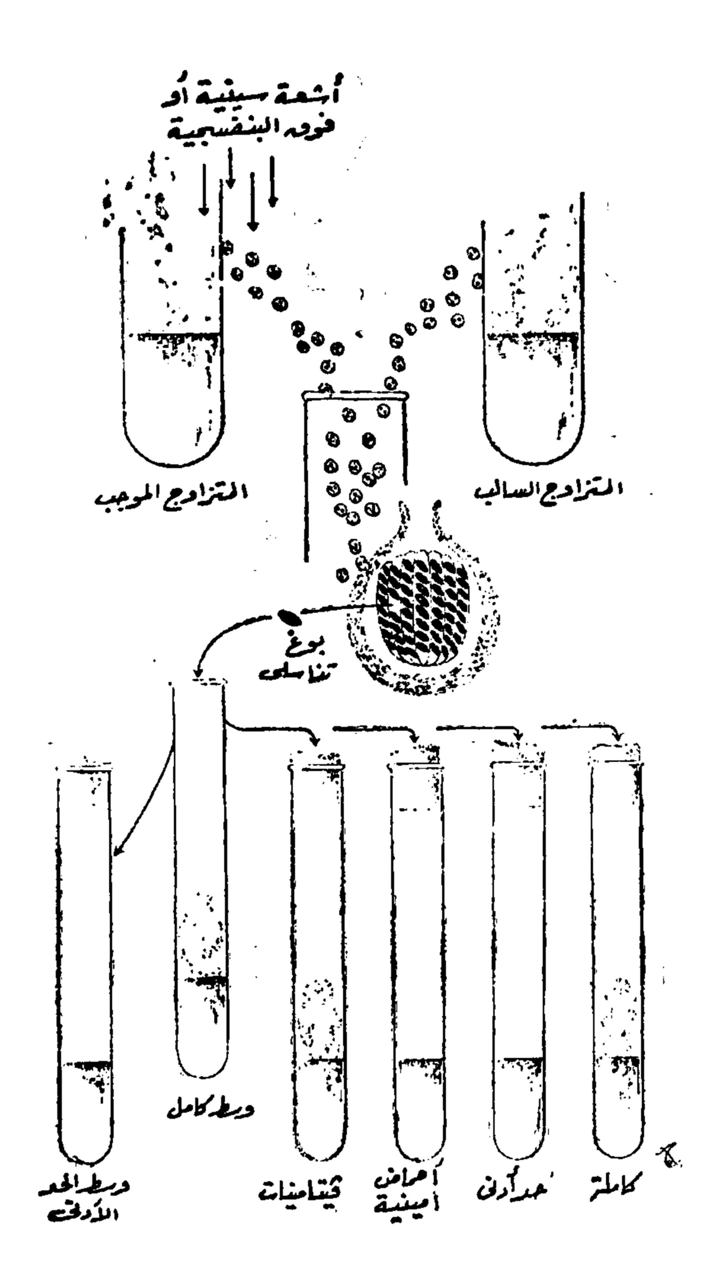
لا تكون تحت تحكم جيني مباشر.

ولذلك، فالخطوة الأولى لفهم التكوين تكون بفهم كيفية إعطاء الجينات تعليماتها، وكيف تعمل. وهذا موضوع ذو أهمية عظيمة بين علماء الأحياء الآن، وذلك لأنه يوجد كثير من الأشياء لا نعرف أي شيء بخصوصها. ومهما كان الأمر فالتقدم العلمي في العقد الأخير كان سريعاً، ولدينا الآن بعض الإدراك في هذه المشكلة.

وحيث إن الجين هو مادة كيميائية، فالذي نرغب أكثر في معرفته هو أي نوع من التعليمات الكيميائية يعطيه الجين للسيتوبلازم. وقد حصل هذا الحقل لعلم الوراثة الكيميائية الحيوية على دفعة رئيسية من الاكتشاف الهام للعالمين ج. و. بيدل، إ. ل. تاتم، بأنه يمكن التعرف على الجينات التي تتحكم في خطوات نوعية لتخليق مقومات الجسم. وكانا حصيفين في اختيارهما لكائن التجربة، إذ أن عفن الخبز نيورسبورا يمكن أن ينمو على خلطة للنمو غاية في البساطة تحتوي على أملاح وسكريات قليلة. ومن هذه المواد يخلق العفن جميع أحماضه الأمينية، والفيتامينات ومقوماته الكيميائية الأخرى. وبتعريض الأبواغ لإشعاع مسبب للطفرة وجد أن بعض المطفرات لا تستطيع النمو على هذه الخلطة التي يطلق عليها خلطة الحد الأدنى. وعند وضع هذه المطفرات بعدئذ في خلطة كاملة أو خلطة غنية بالمغذيات يكون (الافتراض) إذا ما نمت، هو أنها فقدت المقدرة على صنع مادة جذرية ما، وأن هذه المادة توجد في الخلطة الغنية الكاملة. وقد عملت سلسلة من خلطات تحتوي كل منها على خلطة الحد الأدنى ومادة إضافية واحدة، حمض أميني أو فيتامين، مثلاً. فإذا استطاع مطفر غير قادر على النمو بمفرده على خلطة الحد الأدنى، أن ينمو على خلطة محتوية على حمض أميني خاص، كان الاستنتاج الواضح لهذا أن المطفر غير قادر لإنجاز

هذا التخليق خاصة. وقد أمكن بهذه الطريقة التعرف على سلسلة من جينات وكان في المقدور أن ينسب إليها مباشرة تخليق مواد نوعية (شكل ١٣).

وسرعان ما اتضح السبب في فشل التخليق وهو أن الأنزيمات المشتركة كانت غير كافية بطريقة ما. وأهمية هذا هو أن ما تتحكم فيه جينات هو الأنزيمات وأن الأنزيمات بدورها تتحكم في الخطوات الكيميائية التي تحدث داخل الخلية. وليس لهذه الخطوات دخل في تخليق الأحماض الأمينية والفيتامينات فقط، بل كذلك في الكربوايدرات المعقدة والبروتينات. وفي الحقيقة، كما رأينا من قبل، فجميع أجهزة الخلية، وطاقاتها تدار بواسطة الأنزيمات. وأي تغير في التركيب الأنزيمي للخلية لابد وأن يحدث تغيراً في صفات الخلية. ولذلك، فالجينات بدورها تتحكم في العامل الجذري المتحكم في السيتوبلازم.



شكل ١٣– طريقة تجريبية لإنتاج وكشف مطفرات كيميائية حيوية في النيورسبورا. وفي هذه الحالة فقد المطفر بوضوح المقدرة لتخليق أي فيتامين (عن ج. و. بيدل).

وفي بعض الحالات يكون من المستطاع أن نجد الجينات تتحكم في الأنزيمات التي تتوسط متسلسلة بأكملها من الخطوات نحو تخليق مركب واحد أكبر. ويتم هذا أولاً بإيجاد عدد من الطفرات يمكن ردها لأصلها بواسطة إضافة المادة. وبعض من هذه، بالطبع، ربما تكون طفرات متماثلة، وقد يؤثر بعضها الآخر على الأنزيمات المختلفة في سلسلة الخطوات التخليقية والتي تؤدي إلى إنتاج المادة. ويمكن اختبار كل مطفر باستعمال مواد طلائعية مختلفة معروف أنها خطوات متوسطة في السلسلة. وإذا كان مركب متوسط كهذا "يشفي" المطفر، وإذا كان النمو الطبيعي يحدث في وجود خلطة الحد الأدنى مع وجود هذه المادة الوسيطة فيجب افتراض أن الجين المطفر يتحكم في الأنزيم الذي يتحكم في هذه الخطوة الخاصة للإنتاج الطبيعي للمادة الطلائعية أو إحدى الخطوات المبكرة. وباستعمال مواد طلائعية مختلفة، نستطيع التعرف على جين كل خطوة أنزيمية.

ومن المهم أن نذكر أنه غالباً ما تقع الجينات المختلفة في سلسلة كهذه في كروموسومات مختلفة يختلط فيها الحابل بالنابل. ولكن في حالة واحدة عندما أمكن التعرف على الخطوات التخليقية في بكتيريا، كان للجينات نفس النظام على الكروموسوم كالخطوات الكيميائية. والفرض المغري هو أن هذا يمثل حالة تطورية أولية. ولكن لسوء الحظ لا يوجد برهان حقيقي لتأييد مثل هذا الافتراض.

ولا يمكننا على المستوى التركيبي، كما أشرنا من قبل، أن نتعرف منتجات جين أو معرفة كيف أن الجينات تنقل معلوماتها للأنزيمات. وكون الأنزيمات مواد بروتينية، فهي بكل تأكيد تحصل على دقائق تركيبها النوعي والترتيب الموضعي الملائم لتجمعات أحماضها الأمينية من حمض ديزكسيريبونيوكليك للكروموسوم. وهذا يتمشى مع جميع الدلائل بأن الأحماض الأمينية هي في النهاية وسيلة

لتخليق البروتين، ولكن ما زالت التفاصيل ناقصة وتجري دراستها بنشاط كبير.

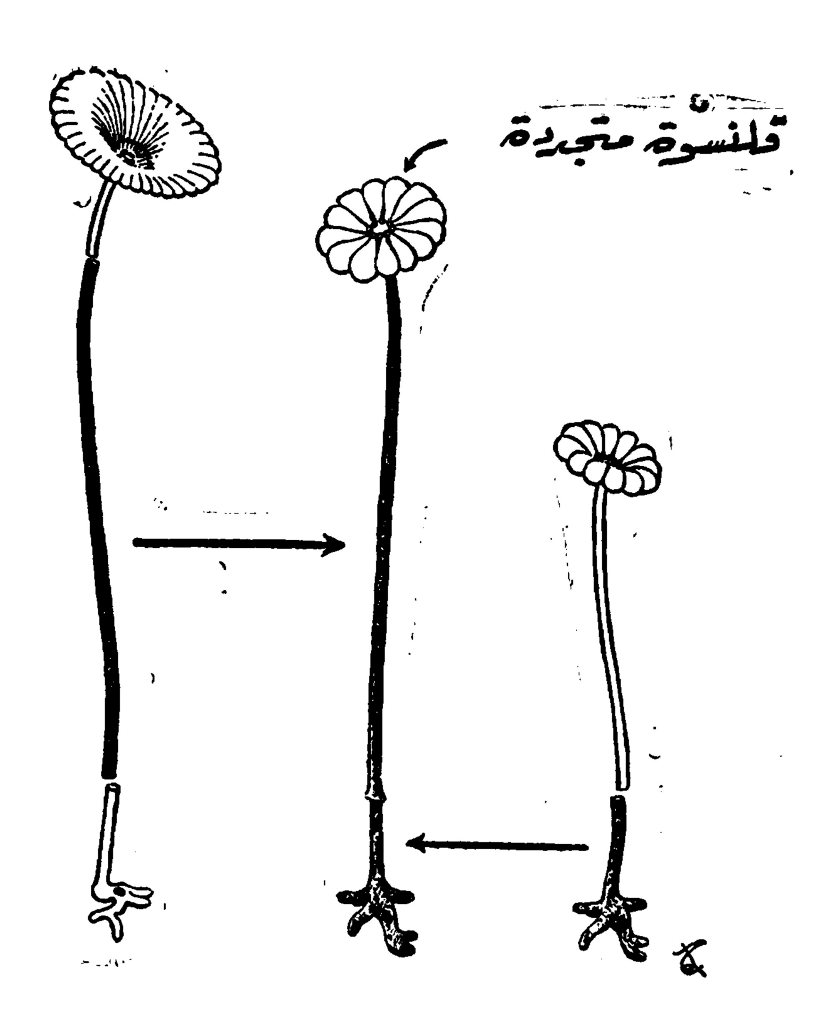
وقد أدى الفحص التركيبي للخلايا إلى مجال آخر، ولكن ما زال تقويمه صعباً، فمنذ الفترة الأخيرة للقرن الماضي، تحقق أن البيضة لا تسهم بنواتها فقط، بل بكتلة عظيمة من السيتوبلازم كذلك. وحقيقي أن هذا الجزء الأكبر من هذه الكتلة هو مح، أي، غذاء مختزن للتكوين المبكر للجنين، ولكن توجد كذلك حبيبات من جميع الأشكال – أجسام سبحية، شبكة أندوبلازمية وغيرهما. وعلى هذه الشاكلة تحتوي الخلية الذكرية بعض مقومات علاوة على حمض ديزوكسيريبونيوكليك **DNA** النواة. والسؤال الآن (وهو سؤال قديم) إلى أي مدى تسهم هذه التركيبات والمواد السيتوبلازمية في التكوين لفرد جديد؟ ويوجد على الأقل جوابان ممكنان: وأحدهما هو أنها تزود التركيب الضروري حتى يمكن للبيضة والخلية الذكرية أن يوجدا كآلات مولدة للطاقة، ولكن مستقبل نمو الجسيمات، بجانب العمليات الأخرى يكون تحت تحكم الجينات. والجواب الآخر هو أن السيتوبلازم يحتوي على بعض تركيبات لها جينات أو وراثيات خاصة. أي إن جينات البلازمة هذه تحمل باستمرار في السيتوبلازم، وهي قادرة على الطفرة، ومثل الجينات العادية تتحكم في بعض الخطوات الأنزيمية. ويوجد برهان على أن بعض تركيبات الخلية متصلة بهذا المعنى (النقط المركزية، ذات النشاط العظيم أثناء انقسام الخلية، هي حالات في صميم الموضوع)، ولكننا لا نعرف مدى شيوع وانتشار هذا النوع من الضبط الوراثي الذي يتحكم في التكوين.

وأحد الأدلة الدقيقة القاطعة، بالإضافة إلى جميع البراهين الوراثية التي ذكرت على أن التكوين يضبط بواسطة نشاط النواة يأتي من عمل ج. هامرلنج على نوع غريب لحد ما من طحلب يسمى أسيتابيولاريا. وهو طحلب بحري

أخضر، رقيق ودقيق في تركيبه، ذو قلنسوة عريضة، ويعطي التأثير كأنه اقحوان غريب ينمو تحت الماء. ومع أن في هذا النوع يصل جميع النبات إلى خمسة سنتيمترات في الطول، غير أنه مع ذلك ليس له جدران عرضية، بل يبقى على شكل أنبوبة متواصلة. وأكثر مهر خارق للعادة لتركيبه هو أن جميع نوياته مركزة في كرة كبيرة واحدة تصل إلى (نواة عملاقة) في التركيب الذي يشبه الجذر عند قاعدته. وفي أثناء التكوين السوي أو بعد زوال القلنسوة وحدوث التجدد، ينمو طرف الساق إلى أعلى ثم ينتج بعد ذلك الدعائم المتشععة التي تشكل القلنسوة. وإذا كان من المفروض أن توجه النواة الحركات الدقيقة لعملية تشكيل القلنسوة هذه، أفليس من الغريب نوعاً ما أن تكون النواة قادرة على أن تقوم بهذا العمل الدقيق مع أنها مستقرة على بعد ٥ سنتيمترات من مكان العملية؟ إن ذلك ليبدو كحالة تكوين تحت تحكم بعيد.

وفي بعض التجارب البارعة أثبت هامرلنج أن ذلك هو ما يحدث فعلاً، وفضلاً على ذلك، ساعدتنا هذه التجارب على الأسيتابيولاريا على إدراك كيفية حدوث ذلك. ففي المقام الأول، إذا فضلت قطعة من ساق من كلتا قبعتها نواتها ونقلت، فإنها تعيش لبعض الوقت وتظظهر كذلك بدايات طفيفة لتكوين قلنسوة، ولكن ليس أكثر من ذلك. ومن حسن الحظ أنه توجد أنواع مختلفة من الأسيتابيو لاريا ذات قبعات مختلفة الأشكال. ومن المستطاع تطعيم ساق نوع ما على أصل من نوع آخر بالطريقة التي تطعم بها الأنواع المختلفة لأشجار الفاكهة أو كرم العنب. وبما أن النواة الضخمة وبعض السيتوبلازم توجد في الأصل، بينما يحوي الساق مقداراً كبيراً من السيتوبلازم فيمكن أن نجري تطعيماً يكون أغلب السيتوبلازم من نوع واحد، النواة من نوع آخر. وسيلتئم الطعم وتظهر قلنسوة جديدة. وتظهر أولاً القلنسوة المتجددة ملامح قلنسوة نوع

السابق أو السيتوبلازم ولكن سرعان ما تختفي هذه الملامح، وتتقمص القلنسوة الجديدة صفة النوع الذي تتبعه النواة. ويعني هذا أن النواة لا تستطيع توجيه التكوين من على بعد ٥ سنتيمترات فحسب، ولكن خلال سيتوبلازم من نوع آخر. ومن المفترض أن النواة تبعث مواد تمر خلال السيتوبلازم، وهذا يفسر لماذا يظهر الساق وحده علامات تجددية قليلة، ريثما تستهلك جميع المواد النووية التي يحتويها. ويفسر كذلك لماذا تظهر بداية التكوين في تجربة التطعيم بعض مميزات قطعة الساق، وذلك لأن سيتوبلازم هذه القطعة ما زالت به مواد نووية مستمدة من النواة الأصلية.



شكل ١٤ – تجربة تطعيم في أسيتابيولاريا. قطعة من ساق يشتمل على سيتوبلازم فقط (يسار) طعمت على نواة محتوية شبه جذر لنوع آخر (يمين)، ويكون الطعم فلنسوة جديدة لديها صفة الجزء ذي النواة، مبيناً أن تأثير النواة يظل تأثير السيتوبلازم وذلك في تعين نموذج التمييز.

وليس هناك سوى استخلاص واحد من هذه التجارب، وهو أن التغير التكويني يبدو أن يكون من اختصاصات السيتوبلازم، بينما توجه النواة التغير فقط، وهناك وجهة نظر أخرى غالباً ما تثار بخصوص هذه النقطة، وهي أن

جميع النويات في جسم نبات أو حيوان، كأنفسنا مثلاً، متشابهة في مظهرها بالتقريب، مع ذلك يحوي الجسم خلايا عصبية، وعضلية، وكبدية، وأنواعاً مختلفة من السيتوبلازم الخلوية. وإذا حددنا الاستنتاج من هذه الملاحظات للقول بأن التغيرات المورفولوجية في التكوين تظهر في السيتوبلازم وحده، فسنكون في مأمن ما من الزلل. ومع ذلك فإننا لا نعرف إذا كانت هناك اختلافات كيميائية داخلية لا يمكننا رؤيتها في نويات الأنسجة المختلفة.

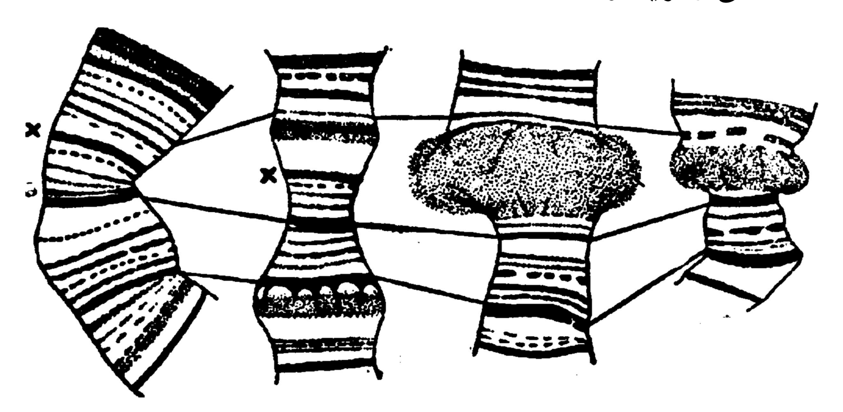
والدليل على أن هذا ربما يكون هو الواقع يأتي في الأصل من بعض تجارب هامة قام بها ر. بريجز، وا. ج. كنج على أجنة الضفدع، فالتشريح الدقيق نقلت نويات مفردة من خلايا صغيرة من مناطق مختلفة لجنين حديث إلى بيضة ناضجة أزيلت نواتها من قبل. وهذه البيضة، بنواتها الغريبة، بدأت في التكوين، معطية أحياناً جنيناً عادياً، وأحياناً غير عادي. والنقطة الهامة هي أنها إذا أعطت جنيناً غير عادي ونقلت نويات هذا الجنين غير العادي بدورها إلى بيض طازج، فإنها تنتج كذلك أجنة غير عادية تظهر نفس الشذوذ الواضح في "الأب"، ويمكن تكرار هذا لجيل آخر؛ فقد ثبت تبديل النواة. وبتعبير آخر حتى على الرغم من أن النويات تبدو متشابهة، فقد تغيرت مقدرتها على توجيه التكوين، ويكون التغير مستقراً.

وهذا لا يعني بالضرورة أن نويات المناطق المختلفة لأنسجة مختلفة قد تتبدل من تلقاء نفسها، وأن هذا كان الخطوة المبدئية التي تؤدي لتمييز الأنسجة. فمن الممكن أيضاً أن السيتوبلازم في المناطق المختلفة تغير أولاً، وأن النويات بدورها أصبحت متغيرة في إمكانياتها، وذلك من أجل تأثير السيتوبلازم النوعي الذي يحيط بها. ويوجد عدد من التجارب، وخاصة في البروتوزوا المهدبة (مثل البارامسيوم)، حيث يمكن رؤية السيتوبلازم وإمكانية تأثيره على النواة

بطرق مختلفة.

وهناك مشاهدة أخرى تثير الاهتمام تخص تكوين الأنسجة المختلفة في يرقات الذباب. فالكروموسومات العملاقية، والتي تحدثنا عنها من قبل، تظهر انتفاخات في بعض المناطق، وتختلف المناطق باختلاف وقت التكوين وكذلك النسيج الذي توجد فيه الكروموسومات.

والفرض المغري هو أن هذه الانتفاخات ما هي إلا مظاهر موفولوجية للجينات أثناء العمل، وأن الجينات المختلفة تنبعث عنها منتجات في أوقات مختلفة وأماكن مختلفة تتوقف على النسيج الخاص. وهذا بكل تأكيد موضوع ذو أهمية عظمى وتجري دراسته بدقة بالغة.



شكل ١٥– توضيح الانتفاخات على الكرموسومات الكبيرة للذبابة. وهذه قطاعات متماثلة لكروموسوم خاص من أنسجة مختلفة وعند مراحل مختلفة للتكوين. وتظهر مواقع جينات مماثلة بواسطة الخطوط الموصلة، ومن الواضح أن كل كروموسوم له تركيب شريطه المميز الذي نفترض أنه يعكس نشاط الجينات في المنطقة، لاحظ على وجه الخصوص المناطق المميزة "×" التي تظهر انتفاخاً في الكروموسومات إلى اليمين. (من و. بيرمان).

وربما خطر للقارئ أن موضوع كون السيتوبلازمية أم النواة هي التي تبدأ

الاختلافات المناطقية لفعل الجينات في الجنين أثناء تكوينه ليست في المقام الأول أهمية ككيفية توزيع هذه الاختلافات.

وموضوع تنظيم التوزيع هذا هو السؤال الكبير في موضوع التكوين؛ وهو الذي سنعود إليه حالاً، ولكن من الضروري أولاً اختبار الطرق المختلفة التي يتم بها التكوين في الحيوانات والنباتات وتحديد مقوماتها. أي ما هي العمليات التي حدثت أثناء التكوين؟

وتوجد أنواع مختلفة من التكوين بقدر ما توجد حيوانات ونباتات، ولذلك فمن الصعب الحصول على أية صورة شاملة عن كيفية حدوث التكوين للكائنات بصفة عامة. وأحسن ما يمكن عمله هو محاولة إدراك العناصر الأساسية التي تدخل في عملية التكوين، وبهذه الطريقة يمكن دراسة تفاصيل العملية. وهناك طرق مختلفة لإجراء هذا، ومن أفيد وأبسط هذه الطرق هو أن نعتبر التكوين يتركب من عناصر ثلاثة: نمو، وتشكل وراثي أو حركات مشكلة، والتميز. وسنعرف حالاً كل عنصر منها، ولكن يجب القول أولاً أن هذه العمليات التكوينية البنائية يجب أن تضبط بإحكام حتى يشبه كل جيل الجيل الذي يليه. وآلية التحكم هي ذات أهمية قصوى لنا، وبدونها يكون التكوين مسخياً عديم النظام. ونحن نعرف من قبل أن الطريقة النهائية للتحكم هي بواسطة الجينات وأفعالها، ولكننا كذلك مهتمون بالخطوات المتوسطة التي تحدث خلال عملية التكوين.

وكان من المعترف به لوقت طويل أن التكوين يتم في سلسلة من الخطوات، تؤدي الواحدة إلى الأخرى. وهذه تسمى طريقة التكوين السببي أو "نظرية الخلق الجرثومي" إيبيجينسس"، وحتى أرسطو ووليم هارفي الذي اكتشف الدورة الدموية) في القرن السابع عشر كانا على علم بأهميتها. وإذا كان علينا أن نعبر

عنها باصطلاحات حديثة، فيمكن أن نقول إن الجينات تنتج مواد تؤدي لإنتاج مواد جديدة تصنع بدورها مجموعة جديدة. وبمتسلسلة طويلة تمثل هذه الخطوات الكيميائية يتحقق الناتج النهائي، الفرد المتشكل. ومن سوء الحظ، أن يكون علم الأجنة الكيميائي في طوره البدائي عند هذه المرحلة من التقدم، ولا يمكننا رسم صورة، على أساس التكوين السببي للتفاعلات الكيميائية للتكوين. وربما كان أحسن مثل لما تم عمله هو الوصف الذي سبق لنظام الجين – الأنزيم في سلسلة من خطوات تؤدي لإنتاج مادة كيميائية واحدة. ولكن على الرغم من أهميتها في الكشف لنا عن كيفية حدوث الخطوات. فإنها لا تعطينا سوى عدد قليل فقط من المليون الذي يحدث خلال التكوين.

وهذه الخطوات السببية ربما يمكن أن تقارن بجهاز اتصال حيث توجد تنبيهات واستجابات متعاقبة. وتكون كل خطوة بمثابة جهاز يقدر على الاستجابة، وكل ما يحتاج إليه هو الدفعة للانطلاق.

ومتى حدث التفاعل وتم التغير، يستعد جهاز استجابة جديد للتنبيه الذي يلي. وهذا نوع من المحادثة الكيميائية التي تؤدي إلى استنتاجات عديدة ذات أثر بعيد وبعيد جداً. وفي أي جهاز تحكمي على أساس تنبيه – استجابة، حتى لو كان من صنع الإنسان، ومع تعقيداته وبالتنبيهات والاستجابات النوعية، يكون استقرار عمله مؤكداً. وهذا يعني أنه في الكائنات الكبيرة المعقدة، كالفقاريات لابد وأن تكون هناك خطوات عديدة تحت التحكم، وهذه تشكل جهاز اتصال يبدو بجانبه أي سنترال تليفوني أو أي جهاز حاسب إلكتروني، يبدو بسيطاً لدرجة السخافة وذا كفاية منخفضة.

ولا يتحتم أن تكون جميع الخطوات صغيرة، فقد توجد خطوات تحكمية رئيسية أو أجهزة اتصال تسمو على الخلايا وترشد بعض أجزاء أثناء التكوين أو

ترشد الجنين بأسره. وهذه هي الطريقة التي يمكن بها للجنين بأكمله أن يتكون كوحدة وتصير أجزاؤه متباعدة عن بعضها تباعداً مضبوطاً. ومن الواضح أن هذه العوامل التحكمية الرئيسية ستكون ذات أهمية خاصة لنا رغم أنه ليس لدينا الآن سوى معلومات أولية بخصوصها. لذلك فلكل مظهر بناء للتكوين أو النمو او حركات التشكل الوراثي أو للتميز سنجري بحثاً خاصاً عن هذه العوامل ذات الأهمية الرئيسية في إحداث التكوين السببي من البيضة المخصبة إلى النضج.

ونعني بالنمو تخليق بروتوبلازم جديد. ففي حالة الإنسان تكون البيضة المخصبة مجهرية، مجرد طرف إبرة، ومع ذلك فحجم الإنسان به أكثر من خمسة وأربعين كيلو جراماً من البروتوبلازم. وإحدى الوقائع التي تساير هذه الزيادة في الحجم هي انقسام الخلية، ويظل حجم الخلية ثابتاً بالتقريب ضمن حدود معينة. ويوجد بالتقريب في الإنسان أربعون جيلاً للخلية تنتهي بحوالي مليون — مليون ($١٠^{١٢}$) خلية. وهذا يعني زيادة ليس فقط في كتلة السيتوبلازم وأغشية الخلية، ولكن في النويات ومقومات أجزائها كذلك. وإذا كانت المشكلة عظيمة للإنسان، فلنتأملها في الحوت الأزرق، الذي ربما يصل إلى ٣٠ متراً في الطول، و١٥٠ طناً في الوزن.

وتلزم الطاقة لهذا التخليق الهائل، ولهذا فهي تشخص مشكلة في بدء التكوين. وقبل أن ينتج جنين الحيوان فماً وتغذية، أو أن ينتج جنين النبات الأوراق التي يمكن بها أن تخلق ضوئياً وتأسر طاقة من الشمس، يجب أن يكون لديها طاقة للنمو. وقد حلت هذه المشكلة في الحيوانات والنباتات معاً بواسطة إنتاج مح (أو مكافئة في النباتات)، الذي يختزن في البيضة. والمح ليس إلا وقوداً، ويستهلك باستمرار من بداية مراحل نمو الجنين المبكرة إلى أن تكون

الطاقة في النهاية ممكنة من مصدر ما آخر. وفي اللافقاريات ربما يكون هذا بوساطة تغذية اليرقة؛ وفي الثدييات المشيمية يكون هذا بوساطة غرس الجنين على جدار الرحم وسحب المواد المغذية من الأم خلال دورة المشيمة في الجنين. وللنباتات خاصية إضافية في أن لديها خطوتين للعملية: فأولاً يزود الأندوسبرم المواد الغذائية للمراحل الجنينية المبكرة؛ ثم تتشكل بذرة وتشحن أوراق البذرة أو الفلقات بالمواد المغذية حتى إن البذرة الثابتة تكون قادرة على الاستقرار قبل أن تستطيع استغلال أشعة الشمس. وحين يأتي وقت تمدد الأوراق الأولى وتأدية وظائفها، تكون الفلقات قد تجعدت ونفذ ما بها، وتسقط من البادرة.

وإذا نحن اتجهنا الآن مباشرة للمشكلة الرئيسية للتحكم في النمو، فأكثر الأنواع وضوحاً للتحكم هو الكف عن النمو بالنضج.

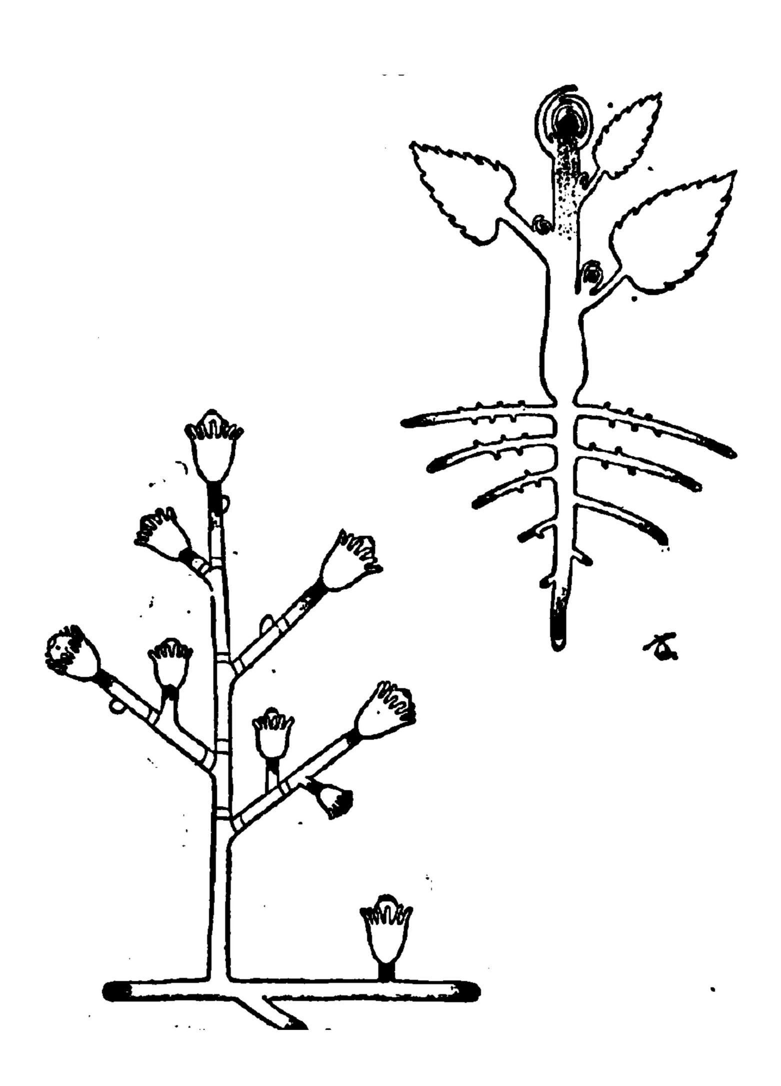
وكما أشرنا من قبل، فهذه ليست بظاهرة عامة، لأن للأشجار نمواً مستمراً، ولحد ما (لحظ الصياد بالسنارة) تستمر الأسماك في زيادة الحجم ولو أن معدل زيادتها ينخفض بسرعة. وعلى كل فإن هناك عدداً من الحالات معروفاً فيما بين النباتات حيث يبدو أن هناك حدود نمو ثابتة، ومتوارثة. وكذلك فيما بين الحيوانات (فمثلاً تتوقف الطيور والثدييات قطعاً عن النمو عند سن معينة) وهذا التوقف الإجمالي للنمو في حالة الفقاريات ناشئ عن توقف أو تكلس مناطق النمو في العظام الطويلة، حتى إنها لا تستطيع الزيادة في الطول بعد ذلك، والسبب، إذاً، هو نوعي تماماً وفي نسيج خاص، وهذا لا يعني أن أجزاء أخرى من الجسم ربما لا تستمر في الزيادة في الحجم. وقد تصل للسن حيث لا تزداد في الطول بعد ذلك، ولكن حسب قراءة الميزان ربما تنمو في اتجاهات أخرى. ولنتابع حالة الثدييات، فهناك أمثلة أخرى عديدة للنمو المناطقي خلال أنسجتها المعقدة. فمثلاً، تفنى الخلايا الدموية باستمرار وتستبدل بعملية نمو

تستمر غير منقوصة لحين الوفاة؛ ويستمر الشعر وأظافر الأصابع في النمو؛ وهناك أمثلة أخرى. والحكمة من هذا هو أن النمو ليس بزيادة عامة للكتلة كلها في النباتات والحيوانات الكبيرة، ولكن متسلسلة من زيادات مناطقية نوعية تكون متوازنة بعناية، كي تعطي فرداً حسن التناسب.

وفي النباتات يحدث التحكم المناطقي جزئياً بواسطة مناطق النمو أو المرستيمات. ويوجد في النبات الخشبي، مثل كل شيء، مرستيمات قمية — واحدة عند قمة كل فرع، وواحدة عند قمة كل جذر (مثل، قمة جذر البصل. وهذه المرستيمات القمية مسئولة عن الزيادات في الطول. وبداخل النبات، وغالباً تكون في أسطوانة داخل القلف تماماً، يوجد المرستيم الجانبي أو الكامبيوم، وهو المسئول عن الزيادة في سمك الشجرة. وتنشق الخلايا باستمرار عن الكامبيوم؛ فإذا انشقت للداخل تصير خشباً، وإذا انشقت للخارج تصير لحاء. وباختلاف مقدار النمو في هذه المناطق يكون من المستطاع تغير الشكل الإجمالي ونسب النبات.

ومن الحيوانات، كالمستعمرات الهدرية يوجد بعض الحيوانات (مثل، الأوبيليا التي تنتمي إلى الهيدرا التي بدورها لا تعيش في مستعمرات، وجميعها جوف معويات) يشبه النبات إلى حد كبير في المظهر. فهي تشكل شجيرات صغيرة غالباً ما تكون حوالي ٥ إلى ٨ سنتيمترات في الارتفاع، وتوجد في المحيط، غالباً على دعامات مرافئ للسفن. وأمثلة أخرى هي المراجين، وهذه كلها أقارب متقاربة. وأوجه شبهها للنباتات ليست بالسطحية فقط، فلها أيضاً مرستيمات، ولكن ليس مرستيمات جانبية (ما لم نأخذ في الاعتبار ترسيبات الكالسيوم الجانبي، بالرغم من أن هذا ليس نمواً لنسيج حي ولكنه تراكم معدني) بل لها بالفعل مرستيمات تسبب الزيادة في طول السيقان. وقد تكون هذه إما

قمية أو بينية في مكان ما على طول الساق، وغالباً ما تكون تحت إحدى البوليبات الاغتذائية (شكل ١٦).



شكل ١٦– مقارنة مناطق النمو القمية أو مرستيمات في الحيوانات (يسار) والنباتات (يمين). وأكثر مناطق النمو نشاطاً مبينة بالنقط الداكنة. ويرى فرد هدري جماعي إلى اليسار ونبات راق إلى اليمين (عن أ. كوهن).

وفي البحث عن أجهزة تحكم أخرى، وخصوصاً تلك التي تسمو حدود الخلايا، تم قدر كبير من أعمال هامة على هرمونات النمو. وقد اكتشف أن النشاط في مناطق النمو في النباتات يكون تحت التأثير المباشر لمثل تلك الهرمونات (والتي تسمى في النبات الوكسينات ولكن بمتابعة هذه الدراسات وهي لا تزال مستمرة بنشاط في كثير من المختبرات في هذه اللحظة) اتضح رويداً رويداً أن علاقة هرمونات النمو بنمو النبات هي علاقة معقدة جداً. ففي المقام الأول يلزم شرح أسباب توزيع الهرمون: فأجزاء معينة فقط من النبات هي التي تنتجه، ثم ينتقل إلى أجزاء أخرى بطرق نوعية. ومتى تحقق توزيع الأوكسين مرة، تستجيب له أجزاء مختلفة من النبات بطرق مختلفة. وفي بعض مناطق النبات ينتعش النمو بتركيز خاص، بينما نفس التركيز يوقف النمو في مناطق أخرى. وبناء على ذلك، فبينما الهرمون هو عامل رئيسي في النمو في النبات فمن الواضح أنه ليس العامل الوحيد، لأنه يجب علينا أن نفهم أيضاً أجهزة التوزيع التي تؤدي إلى الاستجابات المناطقية المختلفة في النبات. ولما كانت أجهزة التوزيع هذه لا تعدو اختلافات في أجزاء مختلفة للكائن، فإننا سنعود للقليل الذي نعرفه عن المشكلة حين نناقش التميز.

وللحيوانات كذلك هرمونات نمو. وقد تمت حديثاً بعض أعمال مثيرة للاهتمام على هرمونات النمو للحشرات، ولكن أكثر معلوماتنا دقة هي عن هرمونات النمو للثدييات. والهرمون الرئيسي الذي يسمى بهرمون النمو، هو الذي ينتج بواسطة الغدة النخامية – وهي تلك الحبة المستديرة عند قاعدة المخ والتي تعمل كمكتب رئيسي للتحكم في جميع الجهاز الهرموني للثدييات. فإذا كان في أي حيوان ثديي نقص في إنتاج هذا الهرمون فإنه ينمو قزماً. ومن الناحية الأخرى، إذا كانت الغدة النخامية متضخمة أو زائدة في التكوين بطريقة

ما، فإن الفرد ينمو عملاقاً. وإذا سمعنا عن إنسان طوله حوالي مترين ونصف متر أو أكثر، فلنكن متأكدين أن هذا هو نتيجة إفراط في هرمون النمو. وكملحق لما قبل من قبل حول العظام الطويلة؛ إذا نتجت هرمونات النمو بإفراط بعد ختام نمو العظام الطويلة بحيث لا يمكنها الاستطالة بعد ذلك فسيحدث اعوجاج غريب لملامح الوجه وكذلك اليدين. وهذا التشوه المعروف بكبر الأطراف، سببه هو أن بعض مناطق الوجه والأصابع ما زالت تحوي غضاريف قابلة للنمو نتيجة تنبيه هرمون النمو.

وفي الثدييات هرمونات أخرى تؤثر على النمو. فالثيروكسين الذي ينتج بواسطة الغدة الدرقية، يؤثر على معدل أيض الخلية، وإذا وجد هناك نقص في الثيروكسين أثناء الطفولة، جاء الجنين قزماً. وفي هذه الحالة وكذلك في حالة الأقزام النخامية، يكون الشفاء مستطاعاً بواسطة حقن الهرمونات. ولا تنتج زيادة الثيروكسين عمالقة، ولكن تنتج انفعالية شديدة ونشاطاً أيضاً قوياً والهرمونات الجنسية هامة في تنبيه النمو المناطقي، والمثل الأكثر وضوحاً لهذه الظاهرة هو التكوين السنوي لقرون الوعل، وهذه عملية يتم التحكم فيها بصفة نوعية بوساطة الهرمون الجنسي الذكري.

ولكن في حالة الحيوانات تواجهنا نفس المشكلة النهائية التي واجهتنا في حالة النباتات: ما الذي يؤدي إلى إنتاج الهرمونات في مناطق مخصصة وفي بعض الحالات تسبب نمواً في مناطق نوعية؟ هذا موضوع من موضوعات التوزيع الزمني.

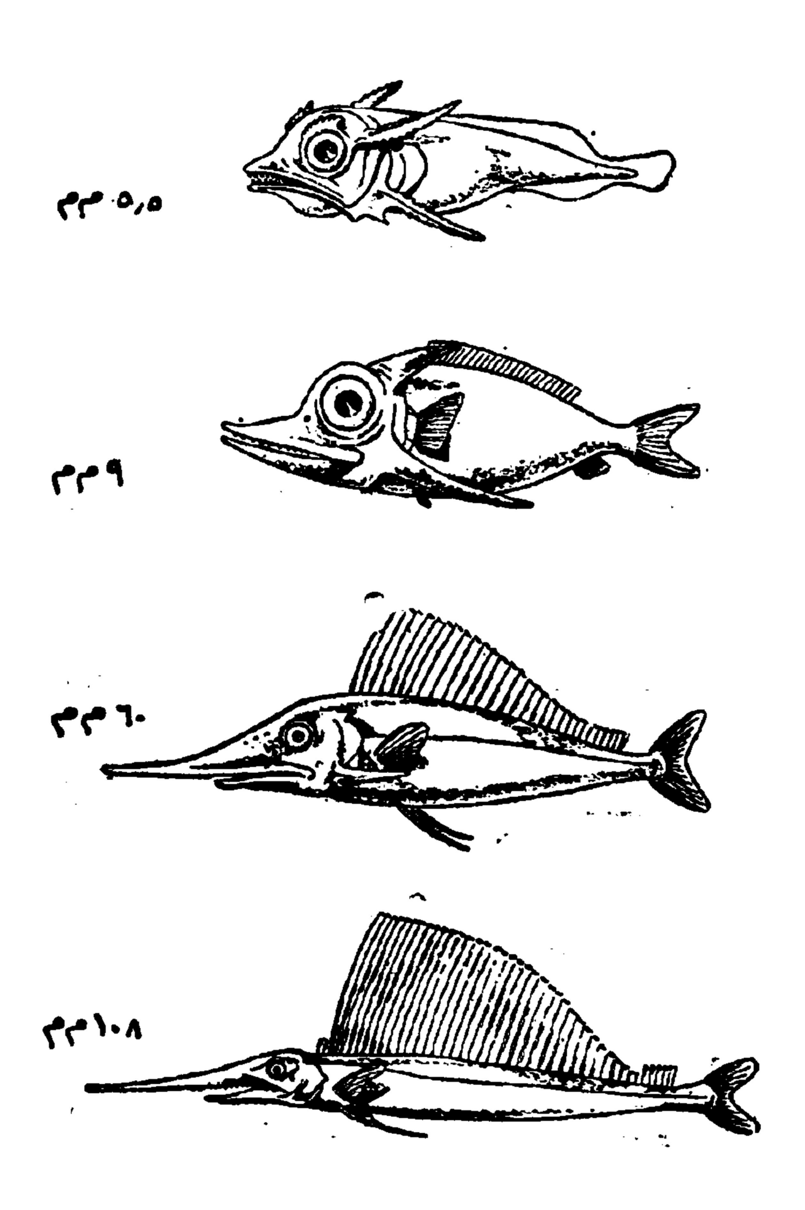
وهناك ملحوظة واحدة ذات أهمية بالغة في موضوع التحكم في النمو هذا، وهي أن مناطق مختلفة في كل كائن نام، نباتاً كان أو حيواناً، راقياً أو بسيطاً حسب مقياس الكائنات، لها معدلات نمو نوعية، وغالباً ما تظل هذه المعدلات

ثابتة لفترات نمو طويلة. وإنه لمن المستطاع مقارنة معدل النمو لأي جزءين مختلفين، ومن الواضح أن نسبتهما ستظل ثابتة إذا استمر الجزءان عند معدل ثابت. وهذا المبدأ البسيط للنمو النسبي والذي يمكن التعبير عنه رياضياً) يمكن توضيحه بوساطة عدد من الأمثلة. فمثلاً، نمو سيف سمكة الشراع "السلفوش" النامية؛ ففي بادئ الأمر يكاد لا يظهر أي نتوء على الإطلاق، ولكن عندما تحدث الزيادة الإجمالية للسمكة الصغيرة يصبح السيف أطول تدريجياً بالنسبة للجسم وإذا كان معدل الزيادة في الطول متساوياً في كل من السيف وبقية الجسم، فستكون للأسماك الصغيرة الدقيقة سيوف طويلة نسبياً بنسبة مضبوطة لبقية جسمها. وإذا تجاوز، من الناحية الأخرى، معدل النمو لطول السيف معدل النمو في طول الجسم، فإن السيف كما يحدث حقيقة) يبتدئ صغيراً نسبياً، وينتهي طويلاً نسبياً (شكل ١٧).

ومثل آخر يمكن أن نشير إليه هو طول الذراع بالنسبة لطول الجسم في الإنسان. فحين يرفع الطفل يديه إلى أعلى، فإنها لا تصل فوق قمة رأسه إلا بصعوبة. بينما يمكن أن يقارن الشخص البالغ بالقرد المسمى الجيبون، إذ يمكنه الوصول لمسافة كبيرة فوق رأسه. ومن الواضح أن يتجاوز معدل النمو لطول الذراع أكثر من معدل طول الرأس. وقد استعمل الطول كمعيار في المثالين، من أجل التبسيط، ولكن المبدأ يمكن تطبيقه جيداً بالمثل مع الحجم أو الوزن لأجزاء الكائن الحي.

ويأتي اهتمامنا بالنمو النسبي من أنه يؤكد إمكان تعيين شكل الكائن باختلافات منطقية في معدلات النمو إلى حد ما. ولكن ما الذي يحدد معدلات النمو هذه؟ كيف أن منطقة واحدة تنمو بمعدل ما، ومنطقة أخرى، ربما قريبة من الأولى، تنمو بمعدل آخر.

والنوع الوحيد للتحكم في معدل النمو الذي نعرفه هو وراثي. وهذا بوجه الخصوص من بحوث ر. جولد شمدت الذي تبنى الفكرة بأن الفعل الأصلي للجينات هو التحكم في معدلات العمليات الإحيائية. وقد أتى برهانه لهذا من دراسات عملت منذ بضع سنوات مضت، قبل بزوغ علم الوراثة الميكانيكية الحيوية بوقت طويل، والذي أيد تماماً استنتاجات جولد شمدت. ونحن نعرف الآن أن الجينات تتحكم في الأنزيمات وأن الأنزيمات هي حاثات مساعدة، أي إن الجينات تتحكم في معدلات العمليات. ولابد أن نفترض أن المناطق المختلفة للجسم تختلف في الأنزيمات التي لها دخل في إحداث النمو، وأن هذه الاختلافات الأنزيمية تحدد بواسطة الجينات. ولكن رغم هذه المعلومات فما زال إدراكنا ناقصاً للنظام الذي يؤدي في المقام الأول إلى هذا التوزيع المناطقي.

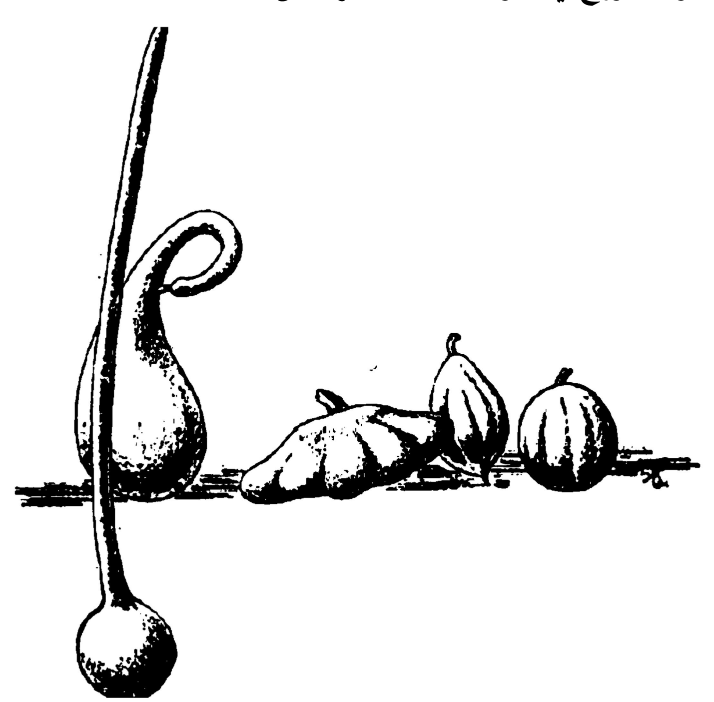


(١) شكل ١٧– مراحل النمو لسمكة شراع (سلفوش) صغيرة. لاحظ أنه كلما ازداد الحجم تمدد البوز بسرعة أكبر من الفك الأسفل (عن و. مبيب).

وقد عرف قدر كبير بخصوص علاقة الجينات بالنمو. ومعروف بين الثدييات أن سلالات خاصة من الفئران قد ظهرت نتيجة نقص موروث في

عمل الغدة النخامية. فمن هذه الحالة نستخلص أن الجينات تؤثر على إنتاج الهرمون الذي يؤثر في النمو. ويمكن شفاء بعض الحالات القزمية في النباتات بإضافة هرمونات نوعية.

وعامل آخر فوق مقدار النمو هو اتجاه النمو نفسه. وهذا يلعب دوراً ذا مغزى في الشكل مقابل الحجم. فمثلاً، في القرع العسلي والقرع التركي نجد ثماراً طويلة نحيلة، وثماراً مستديرة، وثماراً مسطحة قرصية الشكل في تغيرات مختلفة. ويضبط الشكل بوضوح بوساطة اتجاه النمو، ولكن ليس لدينا أي فكرة عن كيفية عمل هذا. والتوجيه هو نوع من التوزيع، ولذلك فبعض ما سنقوله فيما بعد حول التوزيع في ضوء مناقشة التميز يمكن تطبيقه هنا.



شكل ١٨– تشكيلة من القرع العسلي والقرع التركي

ولا يمكن أن تكون مناقشة النمو كاملة بدون الإشارة إلى النمو الورمي أو السرطاني. ومن الوجهة الوصفية تنمو الأورام بمعدل كبير استثنائي أبعد بكثير من معدل نسيجها الأبوي. ولهذا السبب كان يقترح دائماً أن خلية في نسيج ما حدثت بها طفرة تلقائية، سببت ظهور جين جديد تبني أنزيماً جديداً نشيطاً جداً. وعلى أي حال فنحن نعرف أن العرضة للسرطان هي في حد ذاتها والتكوين نفسه، بالإضافة إلى كونه فترة عمل جيني، هو فترة تفاعلات معقدة، يؤدي أحدها إلى الآخر، وبجانب الاحتفاظ بآلة طاقة الخلية لجعل كل هذا ممكناً، فلا بد من وجود إشارات وأجهزة تنبيه – استجابة ذات تعقيد ونوعية كافية لضمان الاستقرار. والعمل الوظيفي في الكائن الحي وتكوينه هما عملية واحدة تشكلت بواسطة الانتخاب، ولأن التكاثر يجب أن يحدث في وحدات وحيدة الخلية، فإن ذلك يقتضي تفتحاً سريعاً ثابتاً في كل جيل.

الفصل الخامس

من بسيط إلى معقد

كثيراً ما عادت لذاكرتنا فكرة تقدم الكائنات من بسيط إلى معقد أثناء مجرى التطور، أي من صغير إلى كبير، وفي الفصل الأخير اختبرت آثار هذا التدرج فيما له دخل بعمليات التكوين. وواضح أن التكوين، كفترة فعل جيني، يتضمن سلسلة معقدة من خطوات تنبيه – استجابة، وأن عديداً منها يمتد إلى ما وراء حدود جدار الخلية ليتكامل الجنين بأجمعه.

ولكن أجهزة الاتصال خارج الخلية تمتد بعيداً إلى ما بعد الفترة الجنينية في جميع فترة التكوين أي في تاريخ الحياة بأكمله. وفي الفترة الجنينية المبكرة تختص هذه الأجهزة بادئ ذي بدء بالبناء الداخلي، بينما خلال الأطوار المتأخرة لدورة الحياة، عند الوصول إلى مرحلة البلوغ، تختص أساساً بتكامل وظيفة الكائن، وكقاعدة أيضاً، كلما كبر الكائن حجماً، ازداد تعقيد جهاز الاتصال.

وهذا هو حقيقة مجال علم التشريح وعلم وظائف الأعضاء.

ولن تعمل هنا أية محاولة أكثر من الإشارة إلى مبادئ قليلة عامة، تعطي قليلاً من الأمثلة المتفرقة، لأن هذا موضوع واسع جداً، وتضمه مجلدات ضخمة مملوءة بالتفاصيل.

ووظائف أي كائن حي ما هي إلا نفس وظائف الخلية:

(١) فهي تعمل أولاً على تحويل الطاقة ليستمر دوران الآلة. وهذه العملية ربما يشار إليها ببساطة بالتغذية، وهي بكل تأكيد من أهم الخطوات في تحول

الطاقة إلى نشاط حي.

(٢) هي تعمل على التكاثر، وبدنًا أغلبية التكاثر هو جنسي، يوجد كذلك أنواع مختلفة من تبرعم وانشقاق لا جنسي.

(٣) وهي تعمل على التنسيق. وحين مناقشة الخلية أشرنا إلى هذه الوظيفة بالانفعالية لأن هذا أحد المظاهر الهامة – أي الحساسية للمنبهات الخارجية. ولكن بجانب استقبال التنبيهات، يجب على الكائنات أن تنقلها للأجزاء المختلفة من الجسم. وربما تكون كلمة تنسيق مفضلة لأنها تشير لجميع أطوار الإدراك والاستجابة لمواقف بيئية ذاتية.

وفي حالة الخلية، وكذلك في الكائن وحيد الخلية رأينا من قبل كيفية تناول هذا الثالوث – تغذية، تكاثر، تنسيق. وبظهور تعددية الخلايا والخطوات المتشعبة المتعددة للتقدم، ظهرت درجة ما من التخصص، وربما يكون من المفيد أن نفهم أولاً كيفية إنجاز النباتات عامة لهذه الوظائف الثلاث.

تتم التغذية في النبات أصلاً بالتخليق الضوئي، وهناك عدد من مظاهر مختلفة تركيبية ووظيفية لهذه الطريقة للحصول على الطاقة. فمثلاً اقتناص ضوء الشمس يتم بعدة طرق مختلفة. وبادئ ذي بدء يوجد التحسين المتدرج في تشريح الورقة وذلك لكي يكون إنجاز التخليق الضوئي أكثر فاعلية، وتوجد الخلايا في وضع رأسي في النصف العلوي للورقة لتشكل طبقة عمودية، بينما البناء المفكك للنصف السفلى أي الطبقة الإسفنجية، يسهل دخول ثاني أكسيد الكربون وهو المكون الجوهري، بالإضافة إلى الماء، لصنع السكريات. والبشرة السفلي مثقبة بثقوب (ثغور)، وهي مزودة بفتحات على شكل شقوق يمكن التحكم فيها. وفتح وإغلاق الخلايا الحارسة يعتمدان على رطوبة الهواء المحيط.

ويجب أن تكون الورقة ذاتها في الوضع المعتدل لتستقبل الشمس، ويحدث هذا معاً بواسطة طابع نمو النبات بأجمعه، بحيث يقل تراكب الأوراق لدرجة ضئيلة. وفي بعض الأنواع يكون بواسطة حركة الأوراق نفسها، بحيث تظل الورقة عمودية على أشعة الشمس وتستقبل بهذه الطريقة أكبر كمية من الإشعاع.

وبالإضافة إلى اصطياد الشمس يوجد كثير من الأنشطة الأخرى لها علاقة بالتغذية وتحويل الطاقة بواسطة النبات. فمثلاً، توجد مشكلة أخذ الماء، والأملاح، وخصوصاً المواد النيتروجينية والتي يحتاج إليها النبات بشدة لتخليق الأحماض الأمينية والبروتينات. ويحدث هذا بواسطة الجذر، وهو تركيب يتلاءم جيداً عن طريق طبيعة شعيراته والصفات التشريحية الأخرى لجذب هذه المواد من التربة. ويجب نقل هذه المواد إلى الأوراق والأجزاء الأخرى للنبات، ويجب أن تنقل الكربوايدرات المصنوعة في التمثيل الضوئي لجميع الأجزاء الحية والنامية للنبات. ومن أجل الحركة الصاعدة من الجذور توجد الأنابيب التي تجري في الخشب، وتنقل الكربوايدرات في الأصل في أنابيب اللحاء وبواسطة جهاز النقل هذا يمكن أن يتم صنع السكريات –التخليق الضوئي– في بقعة محدودة هي الورقة، ويحدث الامتصاص في بقعة محدودة هي الجذر، ومع كل ذلك فيمكن للنبات بأجمعه أن يمر بعمليات الأيض وينمو. إذ يوجد توزيع في العمل، وتخصص متقدم أكثر بكثير من أي شيء موجود بين الطحالب الخضراء.

ولكن لا تتغذى جميع النباتات بالتخليق الضوئي. فتأخذ الفطريات المواد المذابة مباشرة خلال مشيجتها الرقيقة بواسطة الانتشار (تماماً بنفس الطريقة كشعيرات الجذور للنباتات الوعائية)، وبعض النباتات هي طفيليات وتبعث

بتركيبات ماصة خاصة تشبه الجذر في نبات آخر. وأكثر الجميع عجباً هي النباتات المفترسة أو بعض الفطريات، إذ توقع في شراكها وحيلها المميتة الديدان الأسطوانة الصغيرة وكذلك بروتوزوا مختلفة. ويوجد بين النباتات الراقية ما يأكل الحشرات، مثل النبات القدري، الذي يشبه آلة الساكسوفون. فبمجرد دخول الذباب إلى الداخل حيث رائحة الجيفة "الشهية"، يحبس بالشعيرات المسلطة إلى أسفل وكذلك بالجدران الزلقة حتى يغرق في النهاية ويموت في العصارة الموجودة في القاع. وتفرز الإنزيمات الهضمية وتمتص الجزيئات المتهدمة في أنسجة النبات. وفي نبات صائد الذباب جهاز زنادي متقن، وفيه تتقابل وتتأرجح معاً وسريعاً ورقتان مسننتان متمقصلتان (مثل المقصلة الحديدية). والدروزيرا أي الندى العسلي، عليها نقط من سائل لزج يصيد ويقتل الذبابة عند الطرف الذي يشبه الشعيرات لأوراقها.

أما بخصوص تشريح وظائف الأعضاء في تكاثر النبات، فنجد أن أهم عامل في النباتات الراقية هو عدم القدرة على الحركة. ولذلك توجد أجهزة عدة لضمان توزيع البذور ولتأمين نقل اللقاح من نبات إلى آخر. وقد أنتج هذا لون الزهرة، والرائحة، والعلاقة المزدوجة العجيبة بين الأزهار والحشرات (وأيضاً بين الأزهار وبعض الطيور). وغالباً ما تكون الزهرة منبعاً للغذاء والرحيق للحشرات. ولكن توجد الحالة المشهورة لزهرة الأوركيد حيث يتم نقل اللقاح بزنبور خاص يحاول السفاد مع الزهرة، ومن بعض التعليقات المتوقعة التي ستذكر بعد ذلك، يمكننا أن نرى في علاقات الزهرة –الحشرة، تلك، امتداداً لجهاز التنبيه– الاستجابة الذي يتضمن أكثر من نوع واحد. وواضح أن هذا الاتصال بين الأنواع ذو ميزة انتخابية لكلا الشكلين ومفتاح للإخصاب الخلطي في النباتات غير المتحركة. ولقد عوضت النباتات لعدم حركتها باستغلالها قوة

حركة الحيوانات.

وإذا كان علينا أن نستمر في وضع قائمة المميزات المتعلقة بالتكاثر، فعلينا أن نجري تحليلاً مفصلاً لتشريح الزهرة وعمليات تكوين المشيج والإخصاب. وتوجد كذلك الأمثلة المثيرة للاهتمام للتكاثر الحضري حيث تمكن إرسال المدادات أو البراعم لأنواع مختلفة في جميع الاتجاهات. وإذا اعتبرنا الطحالب والفطريات كذلك، فسنجد كمية من أنواع مختلفة للتكاثر اللاجنسي، كما سنجد تغيرات أكثر في طريقة التكاثر الجنسي.

ومن أجل عدم القدرة على الحركة أيضاً، كان التنسيق في النبات مسألة أساسية للغاية. وتوجد، بالطبع، بعض الحركات، كدوران الأوراق والأزهار مع الشمس في السماء. ولكن هذه الاستجابات البسيطة هي بوساطة تغيرات في محتويات الماء، أي بوساطة التوتر على الجوانب المختلفة للنبات، وتوجد كذلك حركات النمو، وتستجيب هذه للضوء (كما يظهر بوضوح من نمو الحشائش في صندوق على أرض النافذة)، وكما تستجيب كذلك للجاذبية. ويدل انتصاب شجرة صنوبر على منحدر تل على أن النباتات تنمو بعيداً عن مركز الأرض. وللجذور استجابة مضادة إذ تنمو نحو مركز الأرض. ومعروف أن حركات النمو هذه تتم بوساطة التوزيع غير المنتظم لهرمون النمو (أوكسين)، والذي يكون مركزاً إلى حد ما في بعض الأماكن ومخففاً في بعضها الآخر بمفعول الضوء والجاذبية. وتنبيه نمو آخر في النباتات هو اللمس والالتصاق، ويتضح هذا بطريقة مدهشة في حوالق الكروم. وأحسن طريقة لملاحظة نموها بوساطة التصوير الضوئي المتكرر. فالحالق الصغير يتقدم للأمام ويرجع إلى الخلف أثناء امتداده، فإذا أصاب غصناً رفيعاً أو سلكاً في هذه الحركة يلتف حوله سريعاً في ملف محكم. وتوجد كذلك حالات قليلة حيث يحدث اللمس تغيراً فجائياً في

نفاذية الخلية، وكما في الزنبرك المفكوك (أو إطار مثقوب)، تحدث حركة فجائية. وتحريك الذبابة لورقة من نبات صائد الذباب هو مثل لذلك ونبات الست المستحية الحساس مثل آخر.

وإذا اتجهنا للحيوانات، فإن الطرق المختلفة التي تؤدي بها الوظائف الثلاث كثيرة جداً. والنباتات بالمقارنة الحيوانات، هي مجموعة أكثر تجانساً. فمثلاً التخليق الضوئي هو النوع الوحيد للتغذية الذي لا يمكن للحيوانات أن تقوم به، ولكنها لكي تحصل على المادة العضوية، أتقنت أنواعاً مختلفة من الحيل الغذائية. فهي تستطيع أكل كل شيء من الحساء إلى الدقيق الجاف، ومن الجيفة الكريهة الرائحة إلى الرحيق الحلو، ومن البطاطين الصوفية إلى وجبة مكونة من سبعة أصناف، بالإضافة إلى بعض النبيذ.

وبما أن جميع غذائها إما صلب أو سائل، فلابد أن هناك أجهزة لتناوله داخل الجسم. والتركيب البوري هو الفم وتوابعه المختلفة. وربما يكون للأنواع التي تغتذي من السوائل تركيب أنبوبي يشبه إبرة الحقنة، كما في البعوضة أو الفراش الذي يحتسي الرحيق (الذي يمكن أن يبسط أنبوبته المطاطية). أو ربما يكون لها فكان طويلان ينتهيان بنقطة حساسة، ويسمحان مثلاً للطائر المغرد أن يصل إلى رحيق الزهرة ويشرب المحلول السكري. وفي حالة المعشبات، حيث يصعب الحصول على المادة النباتية بسبب احتجاز الجذور السليلوزية للعصارات البروتوبلازمية الداخلية، نجد أنه توجد غالباً فكوك طاحنة مختلفة إلى حد ما. أما بين الثدييات، فالأسنان المنبسطة المجعدة في الخراف والخيول والبقر هي أمثلة ممتازة (بجانب اجترار الطعام إلى الأضراس الخلفية لكي يمضغ الرجيع ثانية). وعلى النقيض فالثدييات آكلة اللحوم، لها أسنان حادة مدببة كي تمسك وتمزق اللحم، وحتى مناقير الطيور الجارحة تخدم هذه الوظيفة. وبجانب الأسنان

فهناك المخالب الحادة والأظافر لتساعد في المسك والبتر، وآكلة الحشرات هي أنواع خاصة من حيوانات عديدة. فهناك صائد الذباب وكذلك عصافير الجنة، ونقار الخشب الذي يبحث عن الديدان الصغيرة البدينة في الشقوق تحت قلف الأشجار، وآكل القراد الذي يجلس على ظهر جاموس الماء ليغتذي على مختلف من الطفيليات الدسمة التي تزحف فوق تلك الحيوانات الضخمة. ويوجد بين الثدييات آكلات النمل المختلفة التي تمزق أعشاش النمل الأبيض إلى أجزاء صغيرة بمخالب عظيمة، وتطلق ألسنتها اللزجة تحت السراديب وتسحب المئات والألوف من النمل الأبيض في أفواهها. وإذا استرسلنا بالأمثلة لأنواع مختلفة للغذاء وتراكيب الفم بين الفقاريات فسيشغلنا هذا لفترة طويلة، وإذا حاولنا ذكر جميع اللافقاريات وجميع خصائصها أيضاً، فسيكون الموضوع لانهائياً. وكل ما هو هام هنا هو أن نؤكد التنوع.

وبمجرد دخول الطعام تبدأ عمليات التحضير– الفرتكة إلى المكونات الكيميائية والاستيعاب في الجهاز– واختلاف عمليات تحضير الغذاء بين اللافقاريات كبير، ولكن تكفي الإشارة المختصرة هنا لمثل واحد الفقاريات جميعاً وعلى وجه التقريب جهاز هضمي متشابه، وحتى في الفم تفرز الغدد اللعابية لعاباً، يسهل مرور الطعام ويزود الإنزيمات لهدم النشويات. والإنتاج الكبير للإنزيمات الخلوية الخارجية لتتوسط في هدم الطعام هو أحد اختصاصات القنوات الهضمية للحيوان عامة. وتوجد كذلك عضلات خاصة لدفع الغذاء على طول الأنبوبة، وهي تعمل كي ترتخي الأنبوبة أمام الطعام وتنقبض خلفه. ويعمل الجهاز بنظام دقيق تحت الظروف الطبيعية، ويوجد في المعدة طحن عضلي وكذلك بطارية من الأزمات تعمل في الأطعمة المختلفة، وتبدأ بوجه خاص بهدم البروتينات. وحين يمر الطعام في الأمعاء الدقيقة يستقبل عصارة

البنكرياس والصفراء. وبالإضافة إلى هدم الطعام فأملاح الصفراء هامة في أنها تسهل مرور الأحماض الدهنية (منتجات الدهون) خلال جدار الأمعاء في تيار الدم. وإحدى الوظائف الرئيسية للأمعاء الدقيقة هي مرور الطعام المهضوم في الدم خلال الامتدادات الوعائية داخل القناة الهضمية (خملات).

وبهذا أصبحنا على دراية أنه لكي توضع جسيمات الوقود الأولية هذه داخل جميع خلايا الجسم، فلابد من وجود جهاز ناقل ولا ينجز الجهاز الدموي هذه الوظيفة فقط، ولكنه ينقل الأوكسجين كذلك للنسيج، حتى يمكن استهلاك الوقود. وتخصص الجهاز الهضمي لم يكن ليحدث بدون تكوين الجهاز الدوري. وبعد فمن جراء عمل هذه الآلة الكبيرة تتجمع فضلات كثيرة. ويهرب ثاني أكسيد الكربون مبكراً داخل الدم، ومن هناك إلى الرئتين أو الخياشيم. والفضلات النتروجينية أكثر صعوبة في إزالتها، وقد تطورت الكلية المتقنة بطريقة لا يمكن تصديقها إلى نوع من مرشح لكي تعالج بوجه الخصوص موضوع إزالة هذه الفضلات من الدم.

وقد أصبحت المشكلة البسيطة لتعاطي الطعام، مع ازدياد الحجم والتعقيد، وكفاءة الكائن، مشكلة متقنة تفوق الحد. ويجب أن نتذكر دائماً أن كلاً من هذه التركيبات العجيبة، مع وظيفتها التي تثير العجب أيضاً، أتت إلى الوجود بواسطة الانتخاب الطبيعي، بفضل الطفرة، وبفضل إعادة التوليف بواسطة التناسل الجنسي، وكذلك بواسطة انتخاب الجينات – جينات حولت أو تحكمت في التكوين في هذه الاتجاهات الخاصة. وأكثر من ذلك، فقد رأينا في حالة التكوين أن هذه التركيبات قد تبحث عن سلسلة خطوات من التنبيه – الاستجابة، وقد استمرت تلك الخطوات حتى الآن، لأنها وظيفية، كما استمرت في تكاملها حتى صارت جهاز "تنبيه استجابة". ونتيجة رؤية الطعام أو

رائحته تؤدي إلى اقتناصه بواسطة حركات العضل، واستعمال المخالب وجميع تركيبات الفم، ووجود الطعام ينبه الغدد اللعابية، التي تستجب بالإفراز. ويدفع الطعام إلى أسفل بنشاط عضلي متحكم فيه ووجوده في المعدة يعمل كمنبه لإفراز الإنزيم والطحن العضلي. ويمكننا الاستمرار أكثر وأكثر مع كل خطوة نرى أنها تتضمن منبهاً واستجابة وأن كل خطوة تعتمد على الخطوة التي تسبقها والاعتماد المتبادل للأجزاء، وتكاملها الملائم هما تكيفات جوهرية للعمل الناجح السهل لكائن مفرد.

وباستثناء عدد من اللافقريات فغالباً لا تكون الحيوانات خنثى، ولكن بها ذكور وإناث منفصلة. وهذه الميزة الخاصة في تكاثرها، والتي لوحظت من قبل، ربما تكون ذات علاقة متبادلة مع مقدرتها للتحرك والتجول هنا وهناك. ولموضوع جمع البيضة والحيوان المنوي معاً في الإخصاب الناجح جوانب متعددة، ولكن لنستبعد الغزل والتباهي في هذه المناسبة الحالية ولنركز على المظهر التشريحي للإخصاب الفسيولوجي. وأحد التغيرات التطورية الناجحة والتي توجد بين مجموعات اللافقاريات المختلفة، وكذلك في الفقاريات، هو ابتكار إخصاب داخلي يمكن للحيوان المنوي أن يدخل مباشرة داخل الأنثى. وقد أصبح ذلك ممكناً بتطور تركيبين متممين، وذلك لكي يتحقق اتحاد ناجح فعال. ففي بعض الحشرات التي لها هيكل خارجي صلب يكون التركيب الدقيق للجهاز التناسلي في منتهى الإحكام واللياقة. وفي حالة الأنسجة الرخوة للفقاريات الراقية، حلت هذه المشكلة بسهولة أكثر، غير أن أغلبية الطيور، بينما يوجد دائماً إخصاب داخلي، لا توجد تركيبات خاصة، ويعتمد الإخصاب على التقابل الأكثر صعوبة ومجازفة لفتحتي المجمعين.

والشيء الهام هو وجود انتخاب منسق هنا حيث يحدث التغير المتدرج

تلقائياً في الذكر والأنثى، وفي كل يكون التغير في الاتجاه المضاد للأخر، والذكور والإناث، بالطبع، يمكن أن تكون من نتاج حضين واحد ولها نفس الأبوين. ولكن في الكروموسومات الجنسية الخاصة، والتي تعين الجنس، وتكمن لكل جنس عوامل مختلفة تؤثر على التركيبات التشريحية. وليس الانتخاب قادراً أن ينتج تركيبات مفردة فقط، ولكن ينتج أيضاً تركيبات مزدوجة متممة في الجنسين المضادين لنفس النوع.

وبمجرد اندماج البيضة والحيوان المنوي معاً، تتضمن عملية الإخصاب سلسلة معقدة من منبهات كيميائية واستجابات مازالت غير مفهومة تماماً. وتنتج البيضة مادة تؤثر على الحيوان المنوي تتسبب في أنه ينتج مادة تؤثر بدورها على البيضة. وبواسطة مثل هذه المحادثة الطويلة الكيميائية السببية يحدث الإخصاب أخيراً. ودرجة الإتقان للوقائع التي تؤدي إلى الإخصاب لا تكون بالضرورة أكثر تعقيداً كلما تدرجنا إلى أعلى في المملكة الحيوانية، ولكن في كثير من اللافقاريات، وربما يكون الإسفنج في أول القائمة، شعائر إخصاب معقدة للغاية.

ويجب علينا لكي نوضح أن التكاثر ليس حادثاً منعزلاً وبعيداً من بقية وظائف الكائن، أن نتذكر أن إحدى نتائج الإخصاب الداخلي هي أن الصغار يجب أن تحمل داخليا وأن ذلك يقترن بكثير من التغيرات التشريحية للحاجة إليها، وأن دور الذكر والأنثى الملائم في الإخصاب وتربية الصغار يعتمد على الهرمونات الجنسية، التي تنبه الدافع الجنسي، والعناية الأبوية وإنتاج اللبن. والهرمونات الجنسية ذات أهمية هي الأخرى في البلوغ بتنبيه إنتاج الصفات الجنسية الثانوية والتي غالباً ما تجعل الذكر والأنثى متميزين تميزاً تشكلياً للغاية. ومن المستطاع أيضاً إظهار أن نشاط التكاثر يتضمن كذلك سلسلة متكاملة

للغاية للتنبيهات والاستجابات.

وبخصوص التنسيق في الحيوانات، نجد أن التشكيلة وإنجازها الإجمالي يتجاوز بجسامة ما يوجد في النباتات. وبهذا الفرق، دون شك، علاقة متبادلة مع مقدرة الحيوان على الحركة. والانقباض العضلي هو وسيلة فعالة لسرعة إنجاز عمل ما، وما لم تنسق تلك الحركات، كانت النتيجة تشويشاً عنيفاً وربما هدماً ذاتياً كذلك. وتنسيق عضلة يتأثر أولاً بالأعصاب التي تسمح بالدوافع والإشارات بالمرور في طريقها ثم بعد ذلك تركيز هذه الأعصاب في مركز تنسيق، نوع من سنترال تليفوني، أي المخ. وفي نظام عصب ، عضلة مثل هذا ذي مكتب مركزي للرقابة يكون من المستطاع تحريك العضلات في التتابع الملائم وجعلها تنقبض للدرجة الملائمة، وذلك لكي يمكن إنجاز بعض العمل المعقول.

وإذا تأملنا الجهاز العصبي للافقاريات المختلفة، سهل علينا أن نلحظ اتجاهات فعالة في زيادة تعقيد المخ، وهذه الاتجاهات موجودة وواضحة، بين جميع الفقاريات حتى الإنسان. وهذا في الواقع هو السبب في اعتبار الإنسان في أعلى السلم التطوري، وعند النهاية السفلى للسلم نجد الهدريات (مثل الهيدرا) وقنديل البحر وهي تثير الاهتمام، لأنه ليس بها مركز مخي ولكن بها شبكة بسيطة من الأعصاب. والنتيجة هي أنه إذا وجد انقباض أو استجابة عند نقطة واحدة، فستمر هذه الاستجابة كموجة حول الحيوان. ولتأكيد هذه النقطة نرجع إلى التجربة القديمة التي أجراها أ. ماير. فقد فصل القرص المركزي لقنديل البحر بقاطع مناسب تاركاً الحلقة الخارجية كاملة. وبالتنبيه عند نقطة ما، وتثبيط التنبيه الذاهب في أحد الاتجاهين بكتلة من ثلج، تسبب في أن التنبيه الآخر يدور حول الحلقة بدون توقف لساعات عدة حتى ماتت. ويعتمد أي جهاز تنسيق بجانب العصب والعضلة على مستقبلات، أعضاء متكيفة على وجه

الخصوص تستجيب للمنبهات الخارجية. وتستجيب العين للضوء مع النتيجة المدهشة للنظر. وتستجيب الأذن الأصوات، وتسجل الكيميائيات بواسطة أعضاء ذوق وأعضاء شم على أشكال مختلفة. وتوجد تركيبات مختلفة في الجلد وفي أعضاء التوازن تستجيب للضغط الآلي أو اللمس والقول بأن الجهاز العصبي هو جهاز تنبيه – استجابة واضح لا يحتاج إلى ترديد.

ويحدث التنسيق، إلى جانب حدوثه عن طريق سيالات عصبية عن طريق الهرمونات، كما رأينا في النباتات. وفي الحيوانات كذلك أجهزة هرمونية متقنة، ذكرنا البعض منها. وفي هذه الحالة تحمل الرسائل الكيميائية عن طريق الدورة الدموية. وهناك أيضاً منبه يؤدي لإنتاج هرمون، فيستجيب به جزء أو أكثر من الجسم بإفراز الهرمون.

وفي أثناء هذه المناقشة لآليات الاغتذاء والتكاثر والتنسيق وكذلك في مناقشة تطور النبات والحيوان، ووجهنا مراراً بحقيقتين. فأكثر من أي شيء آخر جابهتنا الزيادة في حجم الحيوانات، كما لاحظنا كذاك الزيادة في التعقيد. ونحن الآن في وضع لنسأل هل يوجد أي اتصال بين الاثنين أم لا يوجد. هل من الممكن أن يزداد كائن في الحجم بدون أن يصبح معقداً؟ والجواب، كما سنرى هو كلا قطعاً، والسبب طريف وبدون لف أو دوران.

ويكمن السبب في مبدأ الجسامة وتوزيع العمل. والخطوة الأولى لإدراك ذلك تقتضى قليلاً من علم الهندسة. فلنمتحن كرتين:

كرة جولف وكرة سلة. وبتعبيرات مساحة السطح والتي تقدر بـ (س = ٤ ط نق^{٢}) يتضح أن كرة السلة أكبر من كرة الجولف. وحتى بتعبيرات الحجم يكون الفرق أكبر (ح – ط نق^{٣}) وبينما يزداد السطح بمربع نصف القطر، يزداد الحجم بالمكعب. ويمكن ذكر هذا بتعبيرات نسبة حجم/سطح كالآتي:

$$\text{ح/س} = \frac{\frac{3}{4}\text{ط نق}^{3}}{4\text{ ط نق}^{2}} = \frac{1}{3}\text{ نق}$$

$$\frac{v}{s} = \frac{{}^{3}/_{4}\,\pi\, r^{3}}{4\pi\, r^{2}} = \frac{1}{3}r$$

وهذا يعني أنه كلما كبرت الكرة، ازداد الحجم مقارنة للسطح.

وإذا انتقلنا من كرات الجولف وكرات السلة إلى الحيوانات والنباتات، نرى أن هناك وظائف حية معينة تعتمد على السطوح كتبادل الغاز وتمثيل الغذاء، بينما توجد وظائف أخرى تعتمد على الحجم، الاحتراق، والأيض، وذلك لأن كل خلية تتأيض. ولنتأمل كائنين كرويين افتراضيين أحدهما بنصف قطر مليمتر والآخر بنصف قطر سنتيمترين. في الكائن الصغير يمكن بسهولة لجميع منتجات الاحتراق والغازات والوقود الضرورية للاحتراق أن تصل إلى مركز الكتلة بالانتشار. بينما في حالة الكائن الأكبر يكون المركز بعيداً للغاية من السطح لكي تحدث هذه التبادلات. فلهذه الحالة الخاصة حلان مستطاعان :

(١) تجعده وانثناؤه حتى إن نسبة السطح للحجم تظل كما هي في الكائن الصغير وبهذه الطريقة، بواسطة انبعاجات السطح، تكون جميع الأجزاء الداخلية بجوار السطح، وتوجد انثناءات هذا النوع في تركيبات تبادل الغازات، كالخياشيم في تركيبات تمثيل الغذاء كالأمعاء الدقيقة، والتي تغطى بالخملات التي تبرز للداخل فتزيد السطح.

(٢) وجود نوع من جهاز للنقل يحمل الغازات والغذاء، وهذا يتوافر في الأجهزة الوعائية للنباتات والحيوانات. ويمكن استعمال نفس طريقة المناقشة في حالة الدعم الفيزيقي، لأن القوة هي وظيفة مربع نصف

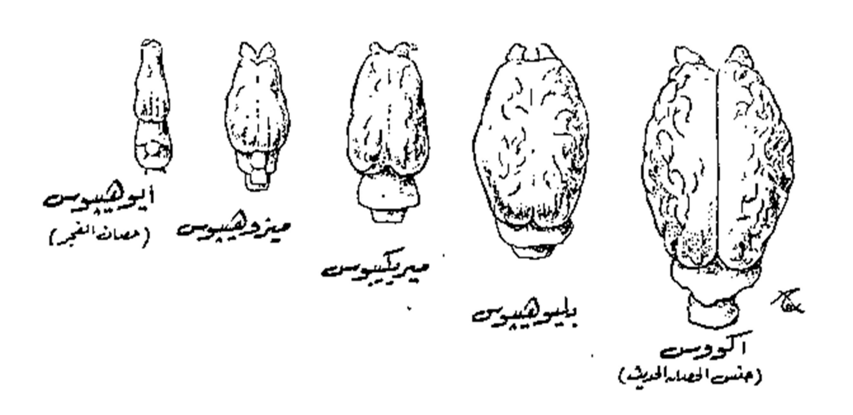
القطر، بينما الوزن يتكافأ مع الحجم ووظيفة مكعب نصف القطر.

ومن هذا يمكننا أن نرى أنه إذ كان هناك ضغط انتخابي لزيادة الحجم، فيجب أن يكون هناك كذلك ضغط انتخابي لزيادة التعقيد.

وتستحيل زيادة الحجم فقط. ومن ناحية أخرى، يمكن أن تكون هناك زيادة في التعقيد بدون زيادة في الحجم. فالترابط هنا يأتي من طرف واحد، وإذا، فيمكن أن يكون عندنا نقص في الحجم وربما لا يتغير التعقيد. وهذه هي الحال بكل تأكيد في كثير من الحيوانات الصغيرة، مثلاً، في الطيور المغردة والزباب.

ويوجد مظهر آخر يثير الاهتمام لعلاقة التعقيد بزيادة الحجم أثبته ب. رنش، فإذا كان هناك انتخاب ثابت لزيادة الحكم (كما في تطور الحصان مثلاً)، فيجب أن تكون هناك إذا زيادة مطابقة في حجم المخ (شكل ١٩). وستكون النتيجة ذكاء أعظم، ومقدرة للتعلم أعظم، ومقدرة أعظم للمكافحة مع البيئة بطريقة مرنة. وهذه الميزات يمكن نظرياً أن تكون هامة للغاية حتى أنها قد تكون مسئولة جزئياً عن الضغط الانتخابي لزيادة الحجم. وقد أجرى رنش، تأييداً لغرضه، اختبارات خاصة بالتعليم على حيوانات مختلفة الأحجام ذات علاقة وثيقة ببعضها البعض، وهو الذي اقترح أنه لهذا السبب لا ينسى الفيل أبداً. و أهمية حجم المخ كعامل في التطور ربما لا يزال إشكالاً، ولو أن هذه الآراء، حقاً، منبهة وفي الموضوع.

وإلى هنا كان التركيز الرئيسي على الحجم وتأثيره في التعقيد



شكل ١٩ – زيادة في حجم المخ في الخيول (بعد ت. أدينجر).

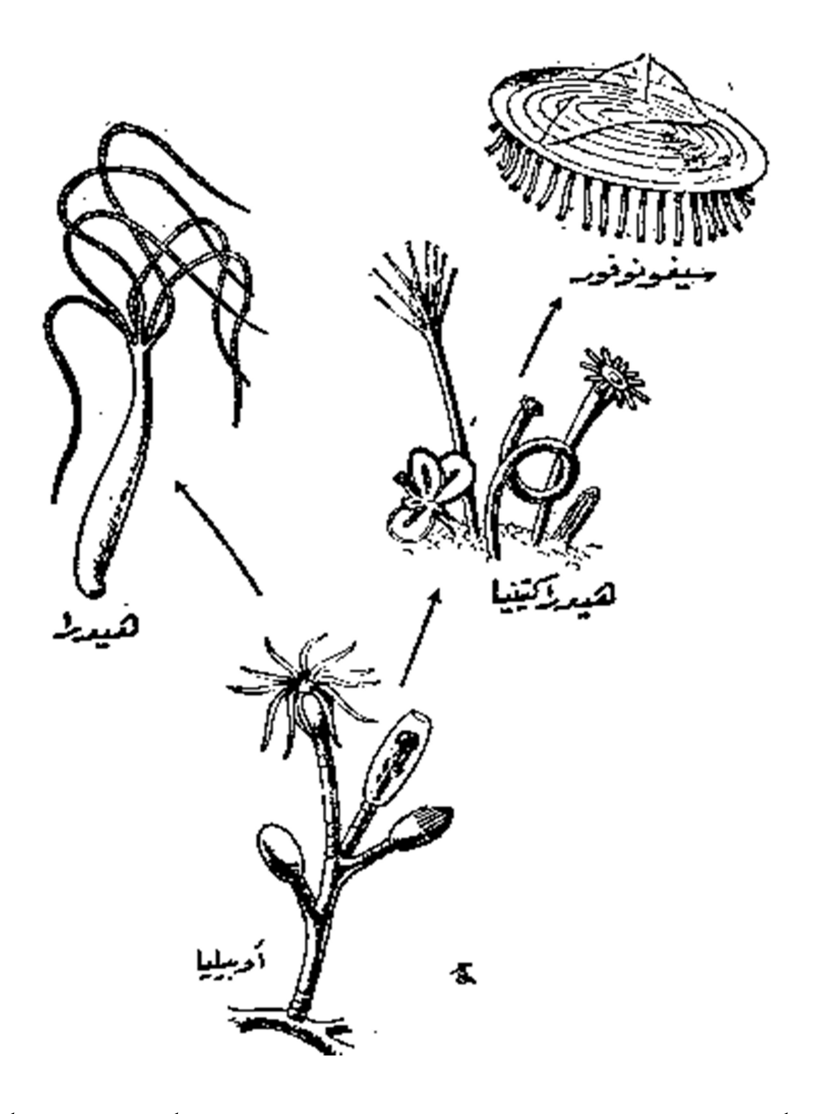
بخصوص هاتين الخاصتين التوأمتين. وإذا انتقلنا إلى مشكلة التعقيد نفسها، فلنتأمل أولاً التكرار الكثير للخطوة التطورية من كائن وحيد الخلية إلى كائن متعدد الخلايا. ففي الخلية المفردة يكون عندنا وحدة واحدة تنجز جميع الوظائف، ويكون العمل موزعاً داخلها. وحتى في أكثر الكائنات بدائية من بين عديدات الخلايا نجد بعض توزيع في العمل، وتصبح بعض الخلايا متخصصة في وظائفها. فمثلاً يوجد في الإسفنج البدائي خلايا صوتية (خلايا مطوقة) تحرك الماء وتقتنص جسيمات الطعام من التيار الشهيقي، ويوجد خلايا تغطي السطح، وخلايا قابضة حول بعض فتحات القناة، وأخيراً خلايا أميبية متجولة ذات أصناف مختلفة، بعضها متخصص في صنع عظيمات هيكلية. وبتعبير آخر يعني هذا أن كائناً متعدد الخلايا كان في الأصل عبارة عن مجموعة من كائنات وحدة الخلية متماسكة فيزيقياً، ولكن في النهاية، خلال الانتخاب والحاجة لتحسين الكفاءة الوظيفية، أصبح توزيع العمل واضحاً حتى إن الخلايا المفردة لم تصبح بعد ذلك كائنات منفصلة، ولكن جزءاً من كان جديد، كبير، أكثر تعقيداً. وإذا اختبرنا مجموعات الخلية الموجودة الآن بين الطحالب، والبروتوزوا،

والمجموعات الشاذة الأخرى، فسنجد كل تدرج داخلي في مجموعات من الكائنات المفردة وحيدة الخلية – والتي تبدو مصادفة أنها ملتصقة معاً – إلى كائنات حسنة التكامل مع أنها متعددة الخلايا بدائية.

ويؤدي هذا النوع من الملاحظة إلى السؤال القديم عن ماهية الفرد، ويبدو أن الجواب أنه لا يوجد خط حاد فاصل حين تندمج مجموعة من أفراد كل على شكل خلية لتشكل فرداً متعدد الخلايا؛ فهناك استمرار تدرجي بين هذين الطرفين.

وإذا كانت هذه هي الحال مع كائنات وحيدة الخلية، فلماذا لا يكون من المستطاع للكائنات متعددة الخلايا أن تكون ملتصقة وتشكل نوعاً من كائن أعلى؟ وإذا كان لا يوجد حقاً خط فاصل بين المستويات، فسيكون من المستطاع أن يعمل على الأقل مركب مزدوج. وتوجد، بالطبع، أمثلة ممتازة لهذا في عديد من النباتات والمجموعات المختلفة للافقاريات، ولكن الحالة الأكثر دهشة والتي تلفت النظر أكثر من غيرها هي حالة الهدريات التي تعيش في مستعمرات، والتي ستستخدم كأمثلة نموذجية ممتازة (شكل ٢٠).

وفي حالة الهيدرا المألوفة توجد بوليبات – أي، فم محاط بحلقة من لوامس وجسم لا يعدو أكثر من معي يشبه الأنبوبة. ويوجد دليل ممتاز على أن جنس الهيدرا ليس بشكل أولي، ولكنه شكل منتكس لهدري يعيش في مستعمرة. ومن بحوث ب. براين الحديثة اتضح أن في نهاية لامسة الهيدرا منطقة نمو تضيف باستمرار نسيجاً جديداً وتسبب استطالة بينما يوجد عند الطرف الآخر هدم مستمر للخلايا. وبما أن البناء والهدم متساويان تقريباً، فلا تحدث أي استطالة ملحوظة لأي فرد ناضج النمو.



شكل ٢٠ – كائنات مركبة متعددة الخلايا من بين الهدريات الجماعية، والشكل الوحيد الذي يمكن اعتباره فرداً وحيداً هو الهيدرا المنتكسة، وتتكون الأخرى من نوعين أو أكثر من أنواع مختلفة من أفراد أو بوليبات تخدم خاصة وظائف التغذية، والتناسل، أو الوقاية.

وعلى النقيض، فالهدريات الجماعية الأكثر بدائية، كالأوبيليا مثلاً، تنمو عند طرف واحد، ولكن لا يوجد تحلل في الخلايا عند الطرف الآخر. وبهذه

الطريقة ربما تصبح القناة المشتركة أكثر طولاً. وفضلاً على ذلك فإنها تتفرع، وعند نهايات كل فرع تنمو بوليبات جديدة. وهذا هو السبب في أنه يطلق عليها جماعية، لأن كل بوليب يشبه الهيدرا ولكنه يتصل خلال الجهاز الجوفي المتفرع جميع الخلايا الأخرى في الجماعة، فهي تشبه جميع حجرات الحمام في إحدى العمارات التي تكون متصلة بواسطة المواسير.

وفي بعض الأنواع المعروفة في أيامنا هذه يكون لجميع البوليبات نفس الوظيفة. فجميعها قادرة على التغذية، واصطياد الطعام ودفعه في الفم، وجميعها قادرة على برعمة أجسام تناسلية صغيرة. غير أنه في الأوبيليا والأنواع ذات العلاقة الوثيقة بها، يوجد تغير جذري، إذ بينما تستبق أغلبية البوليبات مقدرتها على الاغتذاء، يفقدها البعض ويصبح مكرسًا كلية لوظيفة التناسل. فهي تعطي براعم تنمو إلى مدوزات صغيرة، وتنتج هذه المدوزات البيضة والحيوان المنوي اللذين يؤدي اندماجهما إلى تكوين جماعة جديدة. ومن حسن الحظ أن هذه البوليبات التناسلية، والتي لا يكون في مقدورها التغذية، تكون متصلة خلال جهازها الهضمي بوليبات التغذية، وتحصل منها على الغذاء ونظير ذلك تقوم بالتناسل الجنسي للجماعة.

وينقسم العمل هنا إلى وظيفتين، ولكن هذا هو بداية متواضعة فقط، إذ توجد أنواع هدرية أخرى، كالهيدر اكتينيا مثلاً، لديها، بجانب بوليبات التغذية والتناسل، بوليبات وقائية، وربما تكون هذه ذات نوعين مختلفين. فهي غير قادرة على كلا التغذية والتناسل، وهي مغطاة بغطاء كبير خاص من خلايا لاسعة. والذروة لظاهرة تعدد الأشكال (كما يسمى هذا النوع من تقسيم العمل) توجد في جماعة السيفونوفورا التي لها علاقة بالأنواع السابقة، والتي ربما تكون الفيزاليا أحسن مثل معروف لها. وعلى عكس الأفراد المدرية العادية، فأبناء العمومة

هذه لا تكون مثبتة للقاع، ولكنها تطفو بحرية في البحر العميق. وتتكون الجماعة من عدد من أفراد مرتبطة أيضاً بواسطة قنواتها الهضمية، وربما تكون هذه الأفراد إما بوليبات متحولة (مثل الهيدرا) أو مدونات متحورة (مثل البراعم التناسلية التي تخرج المدوزات في الأوبيليا). ويوجد دائماً على قمة الجماعة السيفونوفورية، مدوزة متحورة مملوءة بغاز وتستخدم كعوامة للطفو. وفي حالة الفيزاليا تكون العوامة من الضخامة بحيث إنها تبقى بالجماعة على سطح الماء دائماً. وتقع تحت العوامة سلسلة من مدوزات متحولة عضلية تسهل السباحة. وهذه الفقاعات السباحة هي نتيجة مدوزات متخصصة بحيث تكون العضلة هي كل ما يتبقى من الجسم. ويقع الجزء الرئيسي من الجماعة تحت الفقاعات السباحة: وتنقسم هذه إلى عناقيد من الأفراد، ويحتوي كل عنقود أساساً على بوليب للتغذية وبوليب للتناسل بوليب وقائي (وهو غالباً ما ينتج خيوطاً لامسة طويلة)، ومدوزا وقائية لا تعدو قطعة من هلام. وكل سيفونوفور هو في الواقع وحدة طافية من أفراد متخصصة. وليس في الإمكان توضيح ظاهرة تقسيم العمل في الكائنات عديدة الخلايا بطريقة أبدع من ذلك.

ولكن أحد الملامح الرئيسية لهذه الجماعة هو أن جميع الأفراد ملتصقة ببعضها البعض، وفي الواقع أنها جميعاً أتت من نفس البيضة المخصبة ولن تنفصل أبداً. وهذا نوع من التكامل في الكائنات عديدة الخلايا حيث تكون الأفراد مرتبطة فيزيقياً كل مع الآخر. وهذا يعني أنها ربما (في الحقيقة يجب) يكون لها جهاز هضمي مستمر، وشبكة عصب مستمرة. وبذلك تصبح مشكلة تنسيق الأفراد في وحدة أعلى، ميسورة. وأجهزة التنبيه – الاستجابة داخل الجماعة يمكن أن تعمل بسهولة داخل الكتلة المستمرة حتى يمكن للعمل الموزع أن يتم في وفاق.

وللحصول على هذا النوع من التنسيق، حتى مع توزيع العمل ليس من الضروري أن تكون الحيوانات ملتصقة فيزيقياً كل مع الأخر، وحين يحدث الانفصال، لا نشير بعدئذ للمجموعة كمستعمرة ولكن كمجتمع. وكلما أمعنا في التصور استطعنا اعتبار بعض التكتلات النباتية المتلاصقة مجتمعات، ولكن لهذه الكلمة مغزى أعظم في حالة مجموعات الحيوان.

وطبقاً لهذا التعريف، فإن معظم اللافقاريات وجميع الفقاريات هي جماعية، لأن التزاوج وحده كان قطعاً عملاً جماعياً. والواقع أنه يوجد تدرج كبير للصفة الجماعية، وبعض الحيوانات، كما سنرى، لديها جماعات غاية في الإتقان.

ويمكن أن يحدث التداخل بين الأفراد غير الملتصقة فيزيقياً بطرق عديدة، ويتضمن هذا نقل الإشارات، ويمكن أن تكون هذه الإشارات كيميائية، أو بصرية، أو سمعية، أو حتى آلية. وهذا يعني أن الحيوانات يجب أن يكون لديها القوة لإرسال إشارات، مثل رائحة، أو مظهر، أو وضع من نوع ما، أو صوت أو صيحة، أو دفعة. وبنفس الأهمية يكون استقبال الإشارة بواسطة الحيوان أو الحيوانات الأخرى في المجموعة، ولأجل هذا توجد المستقبلات الخاصة للجهاز العصبي، مثل المستقبلات الكيميائية التي تسجل الروائح، والعيون التي تسجل الصور البصرية والآذان التي تسجل الصوت، ومستقبلات الضغط – اللمس التي تسجل التلاصق. وفي بعض اللافقاريات الأكثر بدائية فربما تكون هذه المستقبلات بدائية للغاية، ولكنها، مع ذلك، يمكن أن تخدم بفاعلية في هذا الاتصال الجماعي.

وإنه لغاية في الأهمية أن أبرز هذه عند النقطة، وفق وجهة النظر الوظيفية، أنه لا يوجد أي فرق بين الاتصال الذي نناقشه هنا بين أفراد منفصلة ونوع الاتصال الذي يحدث داخل جماعة السيفونوفورا، وكذلك نوع الاتصال الذي

يحدث داخل كتلة من الخلايا، كما في الجنين أثناء التكوين أو الكائن الوظيفي العديد الخلايا. إذ يوجد في كل حالة أجهزة تنبيه – استجابة تتوسطها الإشارات، وتتميز جميع هذه الأجهزة بخاصتين أساسيتين. فهي تحدث في خطوات حيث يؤدي تفاعل "التنبيه والاستجابة" كل إلى الآخر، وتؤدي إلى تكامل أوتوماتيكي لجميع الأجزاء (الخلايا، والأنسجة، وكائنات متصلة أو منفصلة) في كل متناسق.

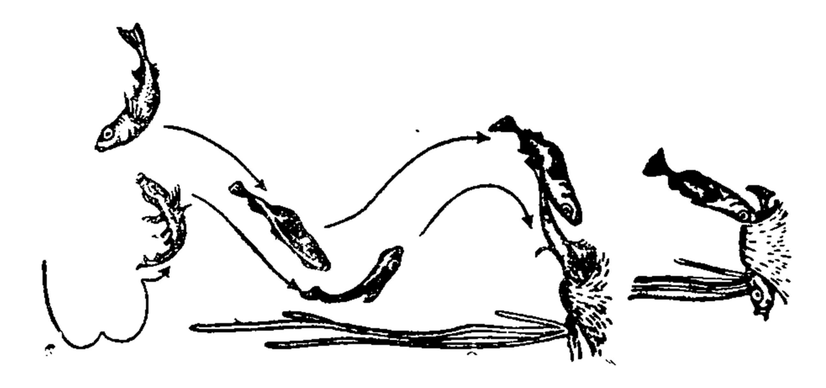
وبما أن جهاز الاتصال هذا في مجتمعات الحيوان يعتمد بدرجة عظيمة على الجهاز العصبي، أو أصبح ممكنا بواسطته، فسيكون من المفيد اعتبار بعض العمل الحديث لعلماء السلوك مثل ك. لورينز، و ن. تينبيرجن وغيرهما. فقد كانوا مهتمين خاصة بآليات أجهزة سلوك تنبيه – استجابة. وبواسطة دراسة الحيوانات في الطبيعة ولنفس الحيوانات في المعمل، أوضحوا أن الحيوان تحت ظروف خاصة يستجيب الاستجابة التي يكون مستعداً لإظهارها، فإذا حجب المنبه قصداً، كانت الرغبة للاستجابة مكبوتة، وظهر الاضطراب المسبب عن هذا الكبت في بعض فورات الطاقة تلقائياً. ومن الناحية الأخرى إذا توافر المنبه الملائم، انطلقت الاستجابة الواضحة مثل طلقة بندقية مشحونة. ويمكن البحث بواسطة التجربة عن مظهر المنبه ذي الفاعلية الخاصة.

ولإعطاء بعض الأمثلة: حين يقترب طائر نورس الرنجة من فراخه الصغيرة، يبدأ الفرخ تنقير منقار أمه، وتستجيب الأم بلفظ سمكة ميتة شهية. ويستجيب الصغير فقط لتركيب يشبه المنقار، وتعطي الأم استجابة وذلك بلفظ السمكة فقط حين ينقرها الصغير. ونحن نرى بوضوح طبيعة الخطوات المتدرجة لهذه التنبيهات والاستجابات. وفي محاولة لإيجاد أي مظهر فعلته الأم في المقام الأول كتنبيه للصغير لكي ينقر، صنع تينبيرجن نماذج من الورق المقوى للرأس ومنقار

طائر نورس الرنجة البالغ، وقد وجد أنه من الضروري وجود شكل إجمالي معين مشابه للأم، وأن البقعة الموجودة على المنقار كانت منبهة بوجه خاص، وحتى لونها كان هاماً، واللون الأحمر (وهو اللون الطبيعي) كان أكثر فاعلية من أي لون آخر في إظهار الاستجابة.

وقد أجريت تجربة أخرى مشابهة لتحديد تأثير شكل البيضة وحجمها، ولونها على استجابة الحضانة في طيور النورس. وقد جربت أيضاً كتل خشبية مختلفة من جميع الأشكال (حتى بيضة مربعة) والألوان. والاستنتاج ذو المغزى الأكبر من هذه الدراسة هو أن أكبر البيض حجماً أعطى أشد الاستجابات عنفاً. ويذكر تينبيرجن حالة صائد المحار الصغير الذي يحاول بيأس أن يبقى فوق بيضة نورس الرنجة الضخمة. فأكثر تنبيه مؤثر، إذا، ليس هو الذي يجابه الطائر عادة. وهذا يكفي لتأكيد أن الاستجابة يمكن أن تكون معدلة لتتلاءم مع منبه خاص.

وأحكام طبيعة خطوات أجهزة التنبيه – الاستجابة يمكن توضيحه بإبداع في عملية الغزل كما يرى، مثلاً، من دراسة تينبيرجن السمك الماء العذب، سمك أبو شوكة ذو الثلاث شوكات (شكل ٢١).



شكل ٢١– مطارحة الغرام لسمك أبو شوكة ذي الثلاث شوكات ويوجد الذكر إلى اليسار والأنثى إلى اليمين (من ن. تينبيرجن)

ففي هذا النوع يبني الذكر عشاً صغيراً من الطحالب ويحرس حيزاً خاص حول العش. وتسير الإناث في مجموعات، وإذا اقتربت من منطقة الذكر، يعمل هذا رقصة متعرجة نحو إحدى الإناث. وإذا كانت هي عند الوقت المناسب للتكاثر في دورتها التناسلية وعلى استعداد استقبالي جيد، استجابت بإظهار السطح الأسفل الأحمر للبطن. (وإذا كانت غير مستعدة هربت بعيداً). ويستجيب الذكر لهذه الإشارة بالانقياد نحو العش متجهاً إليه بمقدمته. وتستجيب الأنثى بدخولها العش، ويستجيب هو بدوره وذاك بوخزها فوق منطقة ذيلها بمقدمته، وتستجيب هي بوضع البيض. وحقيقة أن جميع هذه خطوات متعاقبة، وأن كل خطوة تعتمد على وجود الخطوة التي قبلها قد وضح من سلسلة كاملة من التجارب، التي يتضمن كثير منها نماذج خشبية لأحد السمك المغازل ويدل كل شيء على أن الأنثى لا تضع البيض ما لم يخزها الذكر، وأن الذكر لن يخزها ما لم تدخل العش، وأنها لن تدخل العش ما لم يتجه إليه هو بمقدمته – وهلم جرا إلى البداية. وإذا فقدت خطوة واحدة أثناء مطارحة الغرام الطبيعية، توقفت العملية جميعها. وهذا ما يحدث بالضبط حين تحاول أنواع ذات صلة قريبة أن تتزاوج وحين يكون لدى أحد الأنواع تحوير طفيف لإحدى الخطوات، وسبب هذا توقفاً فورياً للتزاوج ومنع التهجين بين النوعين.

ومما قيل عن أجهزة تنبيه – استجابة هذه والتي تعمل بين الحيوانات الجماعية يتضح لنا أن الاتصال بين الأفراد هام في عدد من العمليات المختلفة في دورة حياتها. ففي التزاوج رأينا فقط مثلاً واحداً من التجمع العظيم الذي يمكن ذكره. ويبدو أن وظيفة هذا الاتصال المتقن هي تنظيم سكب الحيوان المنوي ووضع البيض في آن واحد أو توفير فرصة للجمع بين البيضة والحيوان

المنوي معاً في اللحظة التي يكونان فيها ناضجين وكذلك الضمان أن الأمشاج الذكرية والأنثوية في بعض الحالات من نفس النوع.

وإنه لذو مغزى خاص أن يوجد ما يقرب من ضبط مزدوج لكي تتحقق هذه الوظائف كما يجب. وإحداها، وهي التي نناقشها الآن، على مستوى السلوك، والأخرى على المستوى الكيميائي، وتختص بالتفاعلات الكيميائية المتعارضة بين البيضة والحيوان المنوي حين يقترب أحدهما من الأخر في عملية الإخصاب. ويجب أن نتذكر هنا كذلك أن هناك سلسلة من خطوات، تعتمد الواحدة على الأخرى، ولهذه الخطوات أيضاً منبهات واستجابات نوعية بالرغم من أنها كيميائية أكثر منها سلوكية. وحتى منع حدوث التهجين يمكن، وغالباً ما يحدث على هذا المستوى الكيميائي بتغير طفيف لإحدى الخطوات. وبوجود جهازين منفصلين ينجزان نفس الوظيفة يكون هناك ضمان أكثر بأن كل العمليات ستسير بسهولة، وأنه سيحدث كثير وكثير جداً من تعديلات مستطاعة بالانتخاب حتى يتم تقدم تطوري.

وبالرجوع ثانية إلى تاريخ الحياة ، يتبع الإخصاب التكوين، وقد رأينا في بعض التفاصيل مدى التعاقب في هذه العملية ذات الخطوات المحددة. وبعد الولادة توجد فترة العناية الأبوية في عديد من الفقاريات (الطيور والثدييات على الأقل)، ونرى أيضاً تفاعلاً اجتماعياً بين فردين، في هذه الحالة بين الوالد والطفل. وقد رأينا، في استجداء الطعام عند طائر نورس الرنجة مثلاً لخطوة محكمة لجهاز تنبيه – استجابة، ولكن بالطبع، توجد خطوات كثيرة كهذه في النوع بمفرده. وكثير من الخطوات نوعية ويستدل على ذلك بأن في الطيور أو الثدييات التي تتجمع صغارها معاً في مكان كبير للحضانة أو مأوى (مثل، البطارق أو الفقمات) تكون كل أم قادرة على التقاط طفلها الخاص من الحشد

الكبير. وإنه لهام كذلك أن نتذكر أن أنشطة السلوك تتوقف على حالات وظائف الأعضاء الداخلية للفرد، والهرمونات خاصة ذات أهمية في هذا الخصوص. ووجود هرمونات جنسية مختلفة أساس المطارحة الغرام، كما هو كذلك لجميع مظاهر العناية الأبوية. وتغيرات النمو في الذرية، بكل تأكيد، تكون مصحوبة بتغيرات عظيمة في نشاطها السلوكي. وأجهزة التنبيه – الاستجابة الخارجية تعتمد دائماً على أجهزة داخلية. والنقطة ذات المغزى الأكبر بخصوص كل ما تقدم، فوق استنتاجنا السابق، هي أن جميع تاريخ الحياة في كل أطواره يتضمن أجهزة تنبيه – استجابة ذات خطوات متدرجة داخلية.

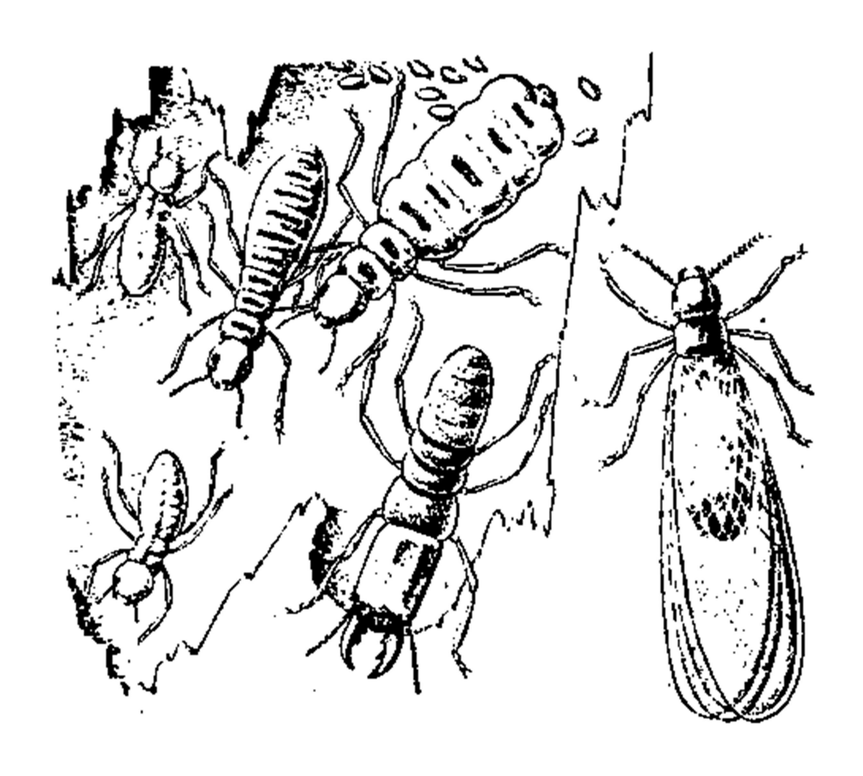
ويمكننا أن نقول الآن إنه في جميع مراحل تاريخ حياة الحيوانات الجماعية، ما عدا المراحل التي تحدث في العزلة داخل قشرة بيضة، أو رحم، أو غلاف العذراء، لها جميعها بكل وضوح، أجهزة تنبيه – استجابة، ذات خطوات تدرجية خارجية.

ولنختبر بإيجاز بعض كائنات جماعية متقنة، لأن الأمثلة التي قدمت إلى الآن تمثل حالات متوسطة أكثر من حالات قصوى وأكثر مجتمعات جميع الحيوانات عجباً توجد بين الحشرات. هذه الكائنات العديدة بشكل عجيب عاشت بنجاح في كل مكان بيتي لائق معقول لملايين عديدة من السنين. وبين كثير من مآثرها في التكيف، نجدها قد كونت في مناسبات منفصلة ومستقلة نوعاً ما من النظام الاجتماعي، وأكثر الأنظمة ما يوجد بين النمل الأبيض (الأرضة)، والنمل، والنحل، وفي لمحة واحدة لكل من هذه المجموعات يجب أن ننظر ثانية بحدة لمدى ونوع جهاز التوصيل.

ودراسة مجتمعات النمل الأبيض، كانت مجزية على وجه الخصوص في أنها قد أوضحت وجود الهرمونات الجماعية، وهي مواد كيميائية يمكن أن تمر من

فرد إلى آخر، وهي التي تتحكم في الطابع للمجتمع بأجمعه. وتبدأ الجماعة في جميع مجتمعات الحشرات هذه بزوج واحد، ويستمر الملك في النمل الأبيض، وتلقح الملكة مراراً بواسطته. وينمو البيض مباشرة إلى حوريات صغيرة تحدث بها سلسلة من الانسلاخات، ولا تنضج أبداً ولكنها تظل دائماً تحت الضلوع – يافعة– وتداوم الانسلاخ دورياً. وهذه الحوريات هي قوة العمل (وليس عند النمل الأبيض قوانين عمل للصغار). ومع ذلك ربما تصبح ناضجة، وقد تنسلخ إما إلى جندي مدرع، أو إلى كائن تناسلي ثانوي، أي نوع احتياطي لاستبدال ملك أو ملكة (شكل ٢٢).

ولدى كل جماعة ملك واحد وماسكة واحدة ونسبة ثابتة من الجنود. وإذا أبيد هؤلاء في كارثة ما، تتجدد النسبة الصحيحة الملائمة بعد بعض الانسلاخ. ويوجد توزيع في العمل داخل المجتمع، ويعمل هذا التوزيع بنسبة ثابتة، تماماً كما هو حقيقي للتكوين الجنيني. ومن عمل س. ف. لايت و م. لوشر فالدليل ممتاز على أن الملك والملكة يبعثان باستمرار بمواد تمنع الدوريات المنسلخة من التكوين إلى متناسلات. ولكن إذا أبيد الملك والملكة، وكذلك إذا أزيل المنع الكيميائي، فيظهر عند الانسلاخ التالي أفراد تناسلية ثانوية. والمادة الكيميائية هذه تنبعث من الملكة وتنتشر إلى جميع الحوريات بواسطة استمرار لعق أحدها للآخر. وبهذه الطريقة يمكن نشر إشارة كيميائية سريعة بين الجماعة. ويظن أن نفس الطريقة متبعة للتحكم في الجنود. ويجب كذلك الإضافة بأن جهاز التوصيل هو بدون شك أكثر تعقيداً من هذا، كما تدل الدراسات الحديثة، ولكن المبدأ الأساسي لم يتغير.



شكل ٢٢ – نماذج مختلفة من النمل الأبيض تمثل طبقات مختلفة، إلى اليسار ثلاث حوريات أو شغالة، ويرى إلى أعلى ملكة تضح بيضاً، ويرى إلى اليمين ملكة عذراء مجنحة لنوع آخر، والفرد الذي في الوسط هو جندي بفكين كبيرين.

والتوصيل في مجتمعات العمل غير مفهوم جيداً حتى بالرغم من أن التشكيلة الملائمة لإجراء التجارب عظيمة جداً. والنمل العسكري هو الاستثناء، كما ظهر من دراسة ت. س. شنيرلا لسلوك هذا النوع. ولهذا النمل عيون ضامرة لا تبصر، ومع كل ذلك فيمكنها التجول بفاعلية في حشود عظيمة، وتهاجم وتأكل كل حشرة أو قطعة لحم تكون في طريقها. وهي تتجول باتباع طريق سابقتها، وهذا هو توصيل كيميائي مثل اقتفاء الأثر عند الكلب؛ والصعوبة في أنه لا يوجد لها قائد وإنما هي كلها أتباع، ولذلك فكل الأفراد

ليس عليها مسئولية ما عدا تلك التي تسير في المقدمة، وهي تندفع إلى الأمام بضغط اندفاع الحشود خلفها. ومع كل ذلك وبالرغم من كل هذه التحديدات يكون الجمع قادراً على الصيد، معتمداً فقط على إشارته الكيميائية.

ويمر هذا النمل خلال أطوار حين يتجول وأطوار حين يستريح في العراء، ويبقى ملازماً منطقة واحدة صغيرة. ويمكن إظهار أن هذه الأطوار المتعاقبة تحدد بأعمار الصغار. وحين تصير اليرقة عذراء، تبقى آمنة مستريحة، ولكن خروجها يهيء تنبيهاً للاندفاع وغزو الريف. ويوجد أيضاً برهان لأعمال اجتماعية تقتضي تنبيهات واستجابات، وهي في هذه الحالة تعتمد على الأحوال الداخلية للأفراد.

ومن أعجب الاكتشافات الهامة في القرن الحالي اكتشافات ك. فون فريش عن لغة النحل، ولم يكن هناك إدراك لمدى التعقيدات الممكنة في التوصيل بين الحشرات. ولب الاكتشاف هو أن الشغالة أو النحلة الكشافة قادرة أن تخبر الشغالة الأخرى في خليتها بالاتجاه والمسافة لمصدر جيد للعسل. وإذا كانت المسافة قصيرة، تكفي الرائحة لتسهيل المشكلة بطريقة عظيمة. وإذا رقصت الشغالة رقصة مستديرة على سطح قرص العسل، تعني هذه الرقصة البحث بجوار الخلية؛ وتعطي الرائحة مفتاحاً عما يبحث عنه. وإذا كان الطعام الجديد على مسافة ما، فتقوم النحلة برقصة هزازة على شكل الحرف 8، ويكون شكل تقاطع الحرف 8 دليلاً على الاتجاه، وتوضح سرعة إنجاز الرقصة مدى المسافة. وعمل 8 بسرعة، بهزة نشيطة يعني مسافة قريبة (بالرغم من أنها أبعد من منطقة الرقصة المستديرة).

والرقصة الهزازة البطيئة تعنى مسافة أكبر، وأصبح حتى من المستطاع أن نرسم رسماً بيانياً يظهر هذه العلاقة العكسية بين سرعة الرقصة ومسافة الطعام.

وبهذه المفاتيح، أمكن لفون فريش التخمين بنفسه أن يكون مكان مصدر الرحيق. وفضلاً عن ذلك يجب عمل ملحوظة حول الاتجاه. وتستعمل الشمس كدليل، وتوضح الزاوية مع الشمس من الخلية إلى الطعام بواسطة الجزء المستقيم للرقصة. وحين تكون الشمس محتجبة يمكن للنحل تقدير مكانها بواسطة استقطاب الضوء في السماء الزرقاء.

وتعقيد هذه الإشارات عجيب حقاً. وبالإضافة لإعطائنا مثلاً تاماً لاتصالات اجتماعية، ترينا (كما كان حقيقياً كذلك لملحوظات جيش النمل) أن هذا التوصيل ربما يكون وسيلة في جمع الغذاء الجماعي. فإذا، بالإضافة إلى التناسل والعناية الأبوية المترتبة عليه، ربما يكون الاغتذاء وظيفة حية تنجز أحياناً بجهاز اتصال خارجي متقن.

وإذا انتقلنا للأشكال الراقية، فسوف نجد دراسات ممتازة على التنظيم الجماعي للطيور والثدييات. وفي هذه الحالات فإن الرباط الرئيسي هو التناسل، لأن هذا هو العطور من تاريخ الحياة الذي يجمع الحيوانات معاً. وهو ليس فقط مطارحة الغرام والتزاوج ولكن يشمل مظاهر أخرى عديدة، مثل تربية الصغير. فمثلاً، في موسم التلقيح في الغزال بجميع أنواعه، وفي الخيول، وفي كثير من حيوانات متشابهة يجمع الذكر القوى إناثاً عديدة على قدر المستطاع؛ ويحاول بالرعاية المستمرة أن يحتفظ بها داخل حيزه الخاص.

ومثل آخر مدهش لأهمية التناسل في الوجود الاجتماعي يخص ذكر فقمة آلاسكا ذات الفراء الثمين الذي يجمع عدداً كبيراً من الإناث، أكثر من مائة أنثى في بعض الأحيان. وفي أثناء هذه الفترة لا يتغذى الذكر، ولكنه يبقى إناثه آمنات ليلاً ونهاراً من الذكور المتجولة. وإذا فيكرس هذا الذكر كلية شهري الصيف القصيرين للتناسل، وباقي السنة للأكل والسمنة. (والفترة التناسلية

هذه عنيفة للغاية حتى إن الذكر الواحد يفقد ما يقرب من ١٠٠ كيلو جرام من وزنه في صيف واحد) والسبب في ذلك هو أن الفقمة حيوان مائي فيما عدا أثناء فترة التناسل، الذي يجب أن يكون على الأرض. وهو يمضي في الواقع طوال العام وحيداً، ولكنه يركز تناسله خلال الفصل القصير المعتدل في الجزر الشمالية. ولتأمين حدوث ذلك بإحكام، فللأنثى آلية خاصة يستمر بها الحمل قرابة ٣٦٥ يوماً، ويمكن أن يحدث الإخصاب الجديد عقب ولادة الصغير مباشرة، ولابد من تمام كل شيء في وقت قصير من موسم جماعي موجه تناسلياً ومليء بالأحداث.

ومن السهولة أن نجد أمثلة أكثر لفترات اجتماعية متشابهة لنشاط تناسلي، ولكن، إذا اتجهنا للأنواع الأخرى للنشاط الاجتماعي، فسوف نجد مثلاً عديدة حيث يكون تجمع الحيوان ذا مغزى هام في التغذية أو في تأمين حماية أعظم للأفراد. ففي الغزال (في غير موسم العشار) تكون الإناث بمجموعات صغيرة، ولها قائدة، أنثى قوية. وقد لاحظ ف. ف. دارلنج أنه، إذا شعرت الإناث بخطر فإن صغارها تصطف على شكل مغزل، وتكون القائدة عند المقدمة والتي تليها في القيادة تكون الأخيرة في الخلف. وإذا اجتازت أخدوداً واختفت عن الأنظار، فإن القائدة الثانية تحدد العدو بنظرها الفاحص إلى أن تدرك المجموعة بأكملها الجانب الآخر. وهذه القائدة لا تسمح طول الوقت بغياب العدو المخيف عن نظرها إلا بعد التأكد من أن القائدة الأولى متنبهة لمكانه، ثم تسرع بعد ذلك وتنضم للمجموعة.

وأكثر أنواع التوصيل الاجتماعي وضوحاً وشيوعاً والذي له علاقة بالحماية هو نعمة التحذير. فإناث الغزال، مثلاً، حين ترى الخطر أولاً، ترسل نعيراً محذراً. ولما كانت القائدة هي –عادة– أكثر تيقظاً من غيرها، فإنها هي التي تعطي

التحذير. ويلاحظ التنبيه بين الطيور وهي معروفة لنا، فمثلاً، النعيب الحاد السريع لغراب مذعور ليس لإرهاب الدخيل، ولكن لتعريف الغربان الأخرى بوجوده. وهناك موضوع مثير للاهتمام سوف نعالجه فيما بعد، وهو يختص بنتيجة أصوات التحذير المنبعثة من جالية ما في حياة جالية أخرى. فربما لا يكون نعيب غراب واحد إشارة فقط للغربان، ولكن ربما لأنواع أخرى عديدة كذلك. ومثل آخر هو حالة الفقمات ذات الفراء الثمين، والتي تنقصها إشارة تحذير، وتعتمد كلية على صراخ طيور النورس منذرة بالخطر.

والاغتذاء الجماعي هو أيضاً شكل آخر شائع لنشاط اجتماعي وأكثر الحالات غرابة في هذه الشاكلة توجد بين الذئاب التي تصيد في مجموعات. وتقتضي طريقتها لمطاردة الفريسة وحركاتها الحصارية المنظمة درجة عالية من التنسيق بين الأفراد. إنه مجهود جماعي تعاوني محدد المعالم.

ووحدة العائلة مثل أخير للتجمع، ويتضح لدرجة ما في الذئاب ولدرجة أعلى في مجتمعات القردة. وقطيع الذئاب هو بمثابة مجموعة دائمة متماسكة لها علاقة ببعضها وليست مجرد تنظيم مؤقت للصيد. وغالباً ما تتركز حول ذكر سائد وأنثاه، ولو أنه كثيراً ما توجد الصغار وحتى أفراد ناضجة تشترك مع الزوجين القائدين. ويبدو أنه من الصعب لذئب وحيد أن ينضم لمثل هذا القطيع، فهو أو هي، على وجه العموم، يكون موضع المهاجمة باستمرار. والقادم الجديد، حتى بالرغم من أنه ينتمي لنفس النوع، يكون في حكم الغريب. ولقردة البابون بمجموعات عائلية متشابهة، ولو أن هذه المجموعات الأصغر ربما تكون ضمن فوج أكبر من القردة. وربما يكون للذكر السائد أكثر من زوجة واحدة، وذرية عديدة، وبعض أتباع من ذكور عزب، ولكن الويل لها إذا هي أظهرت أي علامات اهتمام بإناث في فترة الشبق. وجميع أنشطة هذه الذكور

الثانوية، حتى الأكل، يجب أن تأتي بعد أنشطة كبيرها. وهذه كما في أوجه عديدة أخرى لوجودها الاجتماعي متصلة ببعضها البعض بالإشارات، والأوضاع الخاصة، والضوضاء، وهي كلها جزء من لغتها الخاصة.

وإلى الآن في مناقشتنا عن ما فوق الكائنات قد ابتدأنا داخل فرد، ووصفنا كيف أنه يوجد اتصال بين الأجزاء. ثم رأينا كائنات بأجمعها ملتصقة معاً في النهاية في عملها كما في الأفراد الهدرية الجماعية والسيفونوفورا. وقد اعتبرنا في النهاية حالة الانفصال أو المجموعات الاجتماعية والتي تكون الأفراد المنفصلة فيها مرتبطة معاً بوساطة جهاز توصيل، وحتى ربما يكون هناك توزيع في العمل كما يرى في طبقات مجتمعات بعض الحشرات، والآن هي اللحظة لمناقشة تلك الحالات حيث يكون هناك توصيل، وتنسيق بين نوعين مختلفين. وسنجد هنا أيضاً أن هناك حالات حيث يكون النوعان مرتبطين فيزيقياً واحد للآخر (تطفل وتعايش) وأن هناك حالات أخرى حيث تكون الملازمة على المستوى الجماعي أو غير الملتصق.

ومن الصعب مناقشة التطفل والتعايش منفصلين، لأنه لا يوجد خط انقسام حاد بينهما. ففي كلتا الحالتين يعيش كائنان في تلاصق فيزيقي الواحد مع الآخر، وفي التطفل يظن كلية أن يكون المكسب إلى جانب الطفيلي، بينما الخسارة إلى جانب العائل. وفي التعايش يظن أن الشريكين يكسبان معاً، ولكنه يصعب في الغالب بل ومن النادر استطاعة التأكد بخصوص المكسب أو الخسارة بدون معرفة جميع تفاصيل وظائف الأعضاء، وكذلك الأيض لكلا الفردين. والحالات الوحيدة الواضحة هي التي يقتل فيها أحد الشريكين الآخر فوراً. في هذه الحالة، على الأقل، ربما يدعي الغالب مكاسب أكثر من العائل الميت، وربما نسمي هذا الانتصار غالي الثمن تطفلاً.

وفي التلازم الوثيق بين أفراد من أنواع مختلفة ربما يدوم التلازم خلال جميع دورة الحياة. فمثلاً، يوجد في الهيدرا الخضراء طحالب صغيرة خضراء داخل الخلايا، وقد انتقلت هذه من جيل إلى جيل، إما خلال البراعم اللاجنسية أو خلال البيض. وتوجد حالات أخرى حيث يحتاج الأمر للعدوى في كل جيل جديد، وقد تكون هناك آليات خاصة لتأكيد هذا الائتلاف من جديد. فمثلاً، يجذب بيض بعض الديدان المفلطحة شركاءها الطحلبية السوطية بواسطة إفرازها بمادة كيميائية.

والتلازم على أشكال مختلفة وشائع للغاية. فيوجد عدد ضخم من اللافقاريات يؤوي الطحالب كما في المثلين المذكورين الآن. وبجانب الطحالب، يعيش كثير من الحيوانات في التئام مع البكتيريا والفطريات الخيطية. وبين الثدييات، مثلاً، يوجد نمو كبير للبكتيريا في القناة الهضمية يساعد في عمليات تحضير الطعام للامتصاص. وهذه هامة على وجه الخصوص في حالة آكلي الأعشاب حيث تستعمل بكتيريا تكسير السليلوز لمساعدة انطلاق السكر من هذا الطعام الصلب، وجميع الأمراض البكتيرية والفطرية للحيوانات والإنسان هي أمثلة غير سارة لنفس الشيء.

وتعيش الحيوانات معاً مع حيوانات أخرى، وتلعب البروتوزوا كذلك دوراً كمساعدات هضمية في القنوات الهضمية.

وبالإضافة إلى الثدييات يوجد مثل مدهش لهذا في النمل الأبيض آكل الخشب، والذي يحوي نوعاً من البروتوزوا المتخصصة ويعيش في النهاية الشرجية وينجز هضم السليلوز. ففي كل مرة تنسلخ الحورية تفقد حيواناتها الأولية الأليفة في جلدها القديم. ولكن لما كانت الحوريات، كما رأينا من قبل، تلعق بعضها البعض باستمرار، فسرعان ما تأخذ العدوى ثانية، والأمثلة الأخرى

والتي يكن ذكرها هي الطفيليات الديدانية العديدة لكل من الفقاريات واللافقاريات – الديدان الكبدية والديدان الشريطية والديدان الخطافية الخ.

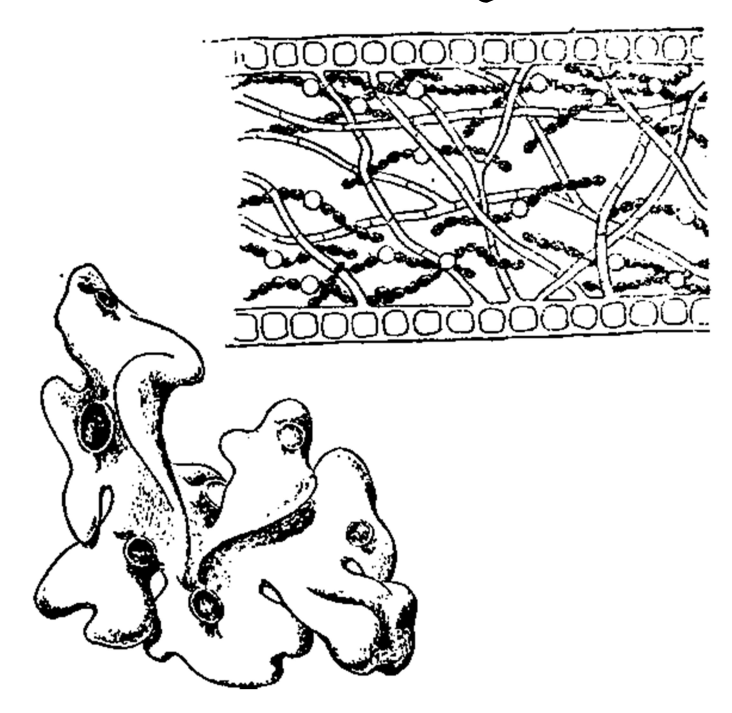
وإذا اتجهنا للنباتات، وجدنا بعض أنواع نباتات راقية تعيش على اتصال بالحيوانات مثل إصابات الخيطيات الأشجار ونباتات المحصولات. وإذا تصفحنا كتاباً من علم أمراض النبات فستندهش لتنوع أمراض النبات، وغالباً ما تكون الطفيليات نباتات أخرى، وبكتيريا، وفطريات خاصة.

وتوجد كذلك مجموعة كاملة من كائنات، تسمى أشن، تتكون من نباتين يعيشان، فيما يظهر، في توازن وعلى وفاق. وتغطي هذه الكائنات المزدوجة شديدة المراس والشبيهة بالقشرة الصلبة للصخور والأشجار وخاصة في أجواء الشمال غير المستحبة. وكتلتها الرئيسية فطرية، لأن بناءها الرئيسي مصنوع من كتلة من خيوطها. ولكن داخل الكتلة، توجد الخلايا الطحلبية متشابكة وثابتة في الخيوط الطحلبية.

والظن هو أن الطحالب تزود منتجات التخليق الضوئي للفطر وأن الفطر يوفر لتسكن وربما، مواد نتروجينية للطحالب. وعلى أي حال فكلاهما يعيش في استقرار. وغالباً ما يتم تكاثرها من كرات من خلايا فطرية تحيط بعض الطحالب وتحمل إلى أماكن بعيدة بواسطة الريح. وبمعنى آخر فهما يتكونان معاً، كما يعيشان معاً. في المعمل يكون من السهل فصل الفطر من الطحلب وزرعهما منفصلين على وسط مخضر، ولكن الشيء الغريب هو أنه إلى الآن يكاد يكون من غير المستطاع إغراء النباتات التي انفصلت لترجع معاً بعد معيشتها في عزلة لبعض الوقت.

والكائنات المزدوجة تبقى وتتكون، كما تفعل الكائنات المفردة، باتصال الأجزاء. والفرق الوحيد هنا هو أنه ربما تكون الأجزاء من أنواع مختلفة، ويجب

أن تكون أجهزة الاتصال متشابهة أساسياً، ونتوقع هنا تبادل مواد بما قد أسميناه من قبل محادثة كيميائية على أن تكون هي العامل الذي يسمح لها بالنمو معاً في خطوات نوعية وأن تعمل معاً في وفاق متقارب. وباصطلاحات أجهزة الاتصال فإن وجود نوعين بدلاً من نوع واحد يبدو أنه لا يسبب اختلافاً كبيراً.



شكل ٢٣– أشن يوجد في أسفل التركيب العام للنبات وفي أعلى قطاع عرضي مجهري ليظهر أن بين الخيوط الفطرية توجد سلاسل من خلايا طحلبية مخضة. (عن ب. فينك).

ويمكن أن تكون هناك كذلك علاقات جماعية بين أفراد من أنواع منفصلة، ولو أنه كما سبق تكون أجهزة التوصيل البعيدة عن بعضها أكثر شيوعاً في الحيوانات. وفي حالة النباتات تبعث بعض الأنواع مواد تنتشر خلال الأرض وتمنع أنواعاً أخرى من النمو في الجيرة القريبة. (وربما تستخدم هذه المواد كذلك لتحفظ أفراداً من نفس النوع على مسافة تسمح بالنمو الجيد). ومضادات

الحيويات التي تنتجها الفطريات والنباتات الأخرى هي حالات في الموضوع. وقد ذكرنا من قبل من بين الحيوانات مثل إشارة التحذير لنوع واحد والتي تكون مفيدة لأنواع أخرى عديدة.

ويجوز أن يحدث تطفل بدون رباط فيزيقي بين طفيلي وعائل، ومثل هذا التطفل الجماعي هو ما يحدث في حالة الوقواق الأوروبي، التي تضع بيضها في عش بعض الأنواع الأخرى.

ولأن فرخ الوقواق الصغير يفتح فمه للطعام بقوة وزهو عظيمين فإن الأم القائمة بالتربية تهمل ذريتها الأصلية الوديعة. وهذا مثل لحالة التنبيه، ففتح الفم واسعاً أدى إلى ظهور استجابة أقوى كالتي تأتيها الأم. والطفيلي ناجح وذلك بواسطة دخوله الماهر في جهاز التنبيه – الاستجابة السلوكي هذا، معطياً لهذا السبب أم الوقواق عديمة الخجل حياة خالية من الهموم.

وربما توجد أمثلة أخرى بين طفيليات الحشرات الجماعية.

وتنضم بعض الخنافس أو بعض أنواع أخرى من النمل إلى جماعة النمل، وتستفيد بالوجبات المجانية وكذلك السكن المجاني. وبين جماعات العمل، مثلاً، نجد أشكالاً كثيرة من الجماعات مزدوجة النوع، فأحياناً يهاجم نوع من النمل تل نمل لنوع آخر ويأسر الشغالة لاستخدامها كعبيد. وربما تستغل كذلك حشرات المن كمصادر لعصارات النبات فتحتفظ عليها محمية راضية آمنة وقانعة مثل ماشية اللبن.

ولكن تصير التضمينات الحقيقية للعلاقات الجماعية أو العلاقات واضحة فقط حين نأخذ في الاعتبار طائفة الحيوانات والنباتات الموجودة في كل مكان واحد. فهناك نفوذ ينتشر فيما وراء نوع واحد مؤثراً أو متأثراً بطابع السلوك

لنوع آخر، أو ينتج نوع واحد مادة كيميائية تؤثر بطريقة ما في نوع آخر، وكل هذه التفاعلات النوعية الصغيرة تؤدي إلى التفاعلات الرئيسية التي تصنع نوعاً جديداً من الوحدات وهو الجالية.

ويوجد توازن في الطبيعة حتى بالرغم من أن الميزان ربما يكون دائم التذبذب، ودائم التغير. وكلمة ميزان ربما تؤدي أحياناً إلى خطأ، لأن النقطة الهامة هي أنه ليس فقط في أن يؤثر أفراد على أفراد أخرى، ولكن قوماً من نوع واحد يؤثرون في قوم من نوع آخر. ويصير هذا واضحاً حين نقصر التفكير على عامل محدد كتزويد الطعام مثلاً. وبأوسع الاصطلاحات نجد أنه إذا قلت النباتات كثيراً، فستقل الحيوانات إذ أن أحدها يعتمد على الآخر. وقد يصاب نبات ما بمرض ما وينقص، وإذا كان هذا النبات هو مصدر الطعام لحيوان قارض خاص، فإنه سينقص عدد هذا القارض، وهذا بدوره رما يسبب نقصاً في عدد من الصقور الخاصة التي تغتذي على هذا الحيوان القارض، وربما تسمح خسارة النبات بزيادة في آخر يعيش على بيئة متشابهة. والحيوان القارض الذي يعتمد على الإضافة الجديدة سيزداد بدوره، ومن المستطاع أن يؤثر على أعداد بعض حيوانات مفترسة أخرى، وهذا المثل مبسط جداً، ولكنه يستعمل ليوضح الاعتماد المتداخل لجميع الكائنات في الطبيعة. والجاليات هي كتل من أجهزة توصيل معقدة بين أفراد وجماعات، من أفراد، ومن أجل هذا، ربما يكون لسبب واحد عدد وافر من النتائج.

ولما كانت الجالية تضم عدداً كبيراً من العناصر وخصوصاً أن هذه غير وثيقة الروابط مع بعضها البعض، لذلك لا تقارن الجالية بالكائن الحي من حيث كفاءتها كوحدة مستقرة. ففي مقدور الكائن أن يعيش ويبقى كما هو بالرغم من التغيرات الخارجية غير العادية. وإحدى عجائب العالم الحي هي المقدرة على

الاحتفاظ بثبات داخلي بصرف النظر عن البيئة الخارجية. ولكن الجالية بأكملها قد يحدث بها مع أقل تغير مناخ أو حتى داخلي (كالمثل الذي أعطى من لحظات فقط). فلنفكر، مثلاً، في الاستقدام البريء للأرنب في أستراليا وما تبعه من نمو عنيف لا يمكن تصديقه وانتشاره خلال القارة بأجمعها. وقد تغيرت جميع الجالية البيئية لأستراليا إلى حد ما بإدخال هذا النوع الواحد.

ولكن في حالة الفرد أكدنا أن الاستقرار كان نتيجة للانتخاب أي إن الاستقرار مكافئ للياقة. فلماذا لا يكون هذا هو الحال الجالية البيئية؟ ويقع الجواب في الحقيقة في أن تغير الجالية هو جوهري لتطور أنواع جديدة متقدمة ومستقرة. فإذا كانت الجالية ثابتة ومستقرة، كان التقدم التطوري إذاً مخيباً. لذلك ففي الخطوة الأخيرة لطريقنا نحو حياة أكثر تعقيداً نجد أن الانتخاب الطبيعي لا يزال يستغل كل الطرق. وكما في الطفرة والتناسل الجنسي، حسن الانتخاب وحافظ على آلية منتجة للتغير، ولذلك نجد في التدرجات والتغيرات داخل الطوائف أن الانتخاب قول حسن وحافظ على طريقة إضافية للاحتفاظ بنوع أكبر من التغير أو المرونة لتسمح بتجديدات تطورية، وكل مستوى للتعقيد من الخلية المفردة فصاعداً قد ظهر بواسطة الانتخاب، ثم استعمل كأداة في انتخاب أبعد. والخطوات النوعية التي تتبع الواحد من الأخر قد ازدادت في العدد وفي المجال. ولكن كل خطوة كانت بوساطة الطفرة، وإعادة التوليف، والانتخاب، حتى يكون هناك تغير من توصيل بسيط داخل أجزاء خلية، إلى توصيل أجزاء كائن عديد الخلايا، إلى توصيل بين كائنات من نوع واحد أو أكثر، مؤدية في النهاية إلى العلاقة المتداخلة الضخمة لجميع أنواع الحياة على سطح الأرض.

الفصل السادس

الإنسان

في المناقشة السابقة وضع أمامنا مسح شامل للموضوعات الهامة في البيولوجيا لنمعن النظر فيها، ومن المثير للاهتمام، قبل أن تخبو معالم الصورة، أن نرى كيف تنطبق هذه الموضوعات على الإنسان. ولن تكون هذه رسالة عن الأجناس البشرية أو الاجتماع، بل تكاد تكون كلها عن بيولوجيا الإنسان. ويعني هذا أننا سنحاول أن نرى في أي النواحي يشبه الإنسان الكائنات الحية الأخرى، وفي أي النواحي يختلف. وسنحاول أن نجد الحدود التي يتوقف عندها علم الأحياء وتبتدئ علوم الإنسان الأخرى. ومن أجل هذا سيكون من المفيد أن نتبع، على وجه التقريب، الإطار الذي استعمل من قبل في هذا الكتاب، وأن نبتدئ بالتأمل في تطور الإنسان: وراثته، وتكوينه أو تاريخ حياته، وأخيراً بيئته، أي علاقته بالبشر الآخرين، بالحيوانات والنباتات الأخرى، وبيئته على وجه العموم. ولن نحاول مناقشة النقط المتعددة السديدة المتصلة بهذا الموضوع ولكننا فحسب سنبرز الآراء ذات المغزى الخاص.

التطور

يجده البيولوجيون في الفترة الحالية في البحث عن أسلاف الإنسان، ويتوافر الآن عدد كبير من حفريات الإنسان البدائي والرئيسات العليا ويرجع ذلك لحد كبير إلى الاكتشافات الجديدة للحفريات البشرية في أفريقيا، وقد ابتدأنا نحصل ببطء على المورفولوجيا المبكرة للإنسان. وبدون شك سيستمر ظهور أجزاء

جديدة لهذا اللغز، وما زلنا نتوقع العثور على سلاسل حفرية لجماجم ولعظام أحسن وأحسن لأسلاف الإنسان.

وفي مناقشة تطور الحيوان والنبات، بدلاً من إعادة تشييد الماضي من الحفائر، تناولنا الأنواع الموجودة حالياً لنحاول، على الأقل، دراسة أنواع التبديلات التي توجد في يومنا هذا. ومن الناحية الفيزيقية يوجد عدد من العناصر المختلفة من النوع البشري على سطح الأرض، ولكنها جميعاً حديثة من الناحية التشريحية؛ أي لا يوجد أناس يعيشون الآن كحفريات حية بالمعنى الخاص.

وإذا اتجهنا لنماذج السلوك بدلاً من نماذج التشريح، بدت لنا قبائل أولية معينة، كرجل الغابة الأسترالي أو الأفريقي، كأنها أشكال من حفريات حية. ولكن سلوكها البدائي ما هو إلا اختلاف سطحي، وإذا أحضرنا فرداً من هؤلاء إلى المدينة في سن واعية مبكرة، وأعطيناه فرصة التعليم الحسن، فإنه سيكون عصرياً في نماذج سلوكه. والموضوع هنا، بدون شك، هو أننا نعالج اختلافات ثقافية لا اختلافات أحيائية، وللتمييز بينما أهمية جوهرية وذلك فيما يختص بالإنسان.

ونعني بالثقافة نماذج السلوك والعادات والمعلومات التي تتداول من جيل إلى جيل عن طريق التعليم. وفي هذا تباين حاد لنماذج السلوك الأحيائي، والتي يفترض أنها تتم وفق تحكم الجينات، لذلك فهي موروثة وغريزية. وهذه الاختلافات مثل كثير من الفروقات الحادة كليلة، وتوجد تدرجات كثيرة من الظل بين الاثنين. وفي المقام الأول يعتمد انتقال الثقافة على المقدرة للتعلم والحفظ، وهذه المقدرة هي تحت تحكم الجينات وموروثة. والسبب في قولنا إن الإنسان هو حيوان مثقف أكثر من حيوان غريزي أن مقدرته على الدراسة

عظيمة للغاية بمقارنتها بأي حيوان آخر، والغريزة التي قد تكون عنده تحجب وتنسى. والنقطتان الجديرتان بالبحث هما أولاً: ما هي الصفات الثقافية للحيوانات غير الإنسان؟ وثانياً ما هي التفاعلات الغريزية عند الإنسان؟

وإنه لمن الصعوبة القصوى أن نصمم تجارب دقيقة بين الحيوانات تميز بين الاستجابات المكتسبة والموروثة. والطريقة العادية هي فصل حيوان عند الولادة، فصله كلية عن أمه، وعن أي فرد آخر من نوعه ربما يقلد أعماله. والنتيجة هي أن يكون من المستطاع إيجاد بعض أشياء يكون الحيوان غير قادر على عملها، وإذا، فمن المحتمل أن هذه أشياء ثقافية. ولكن سيظهر من الأمثلة أن النتيجة ليست على مستوى عال من الوضوح.

ومن دراسة النمل العسكري، فصل ت. س. شنيرلا بعض شرانق من أماكنها وسمح لها أن تفقس في عزلة، فوجد أن نشاطها يحاذي تماماً نشاط رفقائها التي تركت مع جماعة النمل، ولكنها كانت أبطأ في التكوين، وأخذت يوماً أطول لتنجز أفعالها الغريزية. ونتوقع في الحشرات أن يكون أغلب نماذج السلوك ثابتاً وتحت حكم الجينات، وفي الواقع أن التعليم لا يساعد إلا على سرعة الأمور لدرجة صغيرة فقط.

وقد أجريت تجارب كثيرة على أغنية الطائر. فبعض الطيور كمثل الطيور المقلدة وطيور المينا، أو الببغاوات (إذا سمينا نعيق الببغاوات أغنية) معروفة جيداً بمقدرتها الممتازة في التقليد. فقد ورثت مقدرة عالية للتعلم. وعند كثير من طيور أخرى نموذج أغنية أساسية، ولكن، بالتعلم، يمكن أن تحدث تحولات كثيرة ثانوية، وهذه قصة قديمة لهواة الكناري الذين يعلمون صغار الطيور بوضعها بجوار طائر عجوز ذي صوت جميل (وفي الإمكان شراء أسطوانات الحاكي لروائع الكناري ليرشد الطيور الصغيرة) ويستمر نفس التعليم في الطبيعة،

وكنتيجة لذلك تتكون في أماكن مختلفة، وخلال التعليم لهجات مختلفة. وقد عملت دراسات شاملة اللهجات الغراب الأمريكي والأوروبي. وحتى بالرغم من أن الطيور من نوع واحد، فإن استماع غربان من منطقة لأسطوانات غربان من منطقة أخرى يظهر بوضوح أن اللهجة لا تعني شيئاً للمستمع الجديد، وهي كإسطوانة إنجليزية عند فلاح فرنسي. والنموذج الأساسي هنا لإحداث الصوت والمقدرة والتعلم هما صفتان موروثتان، ومن الواضح أن الباقي هو من الشكل الثقافي.

ويروي مثل أخير عن الثقافة في الحيوانات في تجربة هامة على الشمبانزي أنجزت في معمل يركز في أورانج بارك بفلوريدا. فحين شيدت المباني أولاً، كان بها نافورة شرب ذات مكان مركزي، وصنبور من النوع الذي يحتاج للف المقبض التدفق الماء. وقد اطلع قرد واحد في البداية على كيفية عمل هذه الآلة، من تلك اللحظة منذ سنوات مضت، بدلت عناية فائقة لمنع أي شمبانزي آخر من رؤية كائن بشري يدير الصنبور. ومع ذلك فحتى يومنا هذا، بعد أجيال عديدة، يمكن لكل الجماعة أن تشرب من الصنبور. وهذا الفعل قد دام بوضوح بالتقليد الثقافي، لأنه بكل تأكيد لا يوجد أي شمبانزي من الغابة الأفريقية قد ورث الغريزة لإدارة صنبور شرب من صنع الإنسان.

وإذا اتجهنا إلى الجانب الآخر للمشكلة، فنجد عند نظرنا للإنسان من أجل أدلة غريزية، أن مشكلة عمل أي تفرقة واضحة أو عزل لمثل هذه الأفعال أكثر صعوبة. والمميز الوحيد العظيم لتطور الإنسان هو الزيادة في حجم المخ، والمقدرة الفائقة على التعلم. وماذا وكيف يتعلم موجود في كل مكان، لإثبات أن أي فعل صغير ربما يكون غريزياً هو غالباً أمر صعب أو مستحيل. ويزيد المهمة صعوبة، أن الموضوع تحيط به تقاليع وتخيلات مختلفة، وقد كانت كلمة

غريزي مقبولة منذ خمسين عاماً، ولكنها اعتبرت عديمة المعنى منذ عشرين عاماً، وهي الآن قد استعادت ما كان لها من حظوة. ومنذ خمسين عاماً كان يثار الجدل الصاخب، بخصوص نفس الموضوع الذي نناقش هنا: وهو أيهما أكثر إسهاماً في تكوين الكائن البشري: الطبيعة أم التربية؟. والمقصود بالطبيعة ميراثه وبالتربية بيئته الثقافية. وسيحاول مؤيدو الطبيعة الجدل بأن هناك عائلات معينة معروفة لأجيال كثيرة بأفراد منتجين فوق العادة. ومؤسس هذا الرأي هو فرانسيس جالتون منذ مائة عام مضت، وفي الواقع اتخذت عائلته كبرهان لهذا. وعائلات الجيوكس والكاليكاكس بارزة للغاية في جميع كتب علم الأحياء وعلم النفس منذ عدة سنوات فقط، وهي عائلات من سلالات نقية لأجيال عديدة من مجرمين وشواذ غاية في الدناءة. ويشير مؤيدو التربية إلى الموجلي وأطفال الذئب الأخرى وإلى ولد أفيرون المفترس ليظهروا أنه إذا عزل طفل ونشأ في بيئة منفصلة فسيأخذ صفات غير بشرية تماماً (ويبدو أن روميولس وريموس مستثنيان).

وفي الوقت الحالي يعتبر هراء كل من هذين النقيضين وخاصة الأمثلة، ولا يتردد علماء الاجتماع في إبراز الحقيقة أن عائلة جالتون احتفظت بتقاليد ثقافية لمتسلسلة من أجيال، كانت تختلف بعض الشيء عن القتل والاختلاس والاغتصاب المعروف عن عائلات الجيوكس والكاليكاكس. ومن العسير الخروج باستنتاج سليم عن الطبيعة والتهذيب من مثل هذه المشاهدات وولد أفيرون الوحشي والآخر المسماة بأطفال الوحشية قد ثبت، بواسطة فحص دقيق نسبياً، أنها حالات أطفال غير متزنين عقلياً، أما الغزلان والذئاب، وحيوانات الأمومة الأخرى فقد تلاشت أخبارها.

ولعل خير ما يقال في هذه اللحظة هو أن كثيراً من التفاعلات لمواقف

خاصة هي غريزية وفطرية، فالخوف والغضب والانشراح وكل الانفعالات الأساسية تطابق هذه الفئة، على الرغم من أن التنبيه الذي ربما يظهر هذه التفاعلات يمكن تحويره قطعاً إلى حد ما بواسطة الثقافة، ويظن أنه من المحتمل على وجه الخصوص أن تكون تفاعلات الطفولة والطفولة المبكرة فطرية، لأنها لم تحجب إلى الآن بتفاعلات مكتسبة بالتعليم.

ونحن نعرف كذلك (كما يعرف مربو الكلاب لمئات السنين) أن الصفات العقلية العامة تورث. ومن المستطاع تربية كلاب للشر، أو لسهولة الانقياد أو للاسترجاع أو للتوجيه، أو للمطاردة أو لجميع المناشط الأخرى الخاصة بالكلاب. وهناك مثل آخر دقيق وهو تربية الأغنام. فغنم مارينو تتجمع دائماً بينما تنتشر غنم هايلند. والسبب هو أن في إسبانيا تبعد تغذية الصيف كثيراً عن تغذية الشتاء، وعلى الراعي أن يسير بها مسافات طويلة بجانب الطريقة وخلال القرى. فإذا لم تكن متجمعة فقد تفقد بسرعة في رحلتها الموسمية. ومن الناحية الأخرى، لا يحرك الراعي الاسكتلندي أغنامه الهايلند مسافات كبيرة ويريدها أن تنتشر بقدر المستطاع على التلال حتى لا تثقل في رعي مساحة واحدة، وهاتان الصفتان قد تحققتا بالتربية الانتخابية.

أما بخصوص الإنسان فالصعوبة تنحصر في أن التهذيب قد أصبح هاماً للغاية، حتى إن الاستدلال بوضوح على أثر الطبيعة يتزايد دائماً في الصعوبة. ولكننا نعرف أن بعض نماذج سلوك البشر لابد أن تكون جميعها أو على الأقل جزءاً منها غريزية. والصعوبة الوحيدة هي أننا لسنا متأكدين كلية أيها وإلى أي مدى.

وازدياد أهمية التربية أو، أحسن، المقدرة على التعلم في الإنسان له آثار بالغة في تطوره، فتسليم المعلومات من الوالد إلى الابن هو بمثابة طريقة جديدة

للوراثة، وعلى ذلك يتوافر للنوع البشري جهازان للتوريث على مستوى عال من الكفاءة: واحد تكويني وراثي والآخر ثقافي. وإذا، فيمكن أن يكون هناك تطور ثقافي بجانب تطور أحيائي.

ونحن نعرف أن في التطور الأحيائي يتوافر التغير بوساطة الطفرة، وإعادة التوليف، والانتخاب. وفي حالة الكائن القادر على التعليم الشامل، فإن التطور الثقافي يعمل بجهاز مختلف كلية. وكل ما يحتاج إليه هو فكرة جديدة، أو اختراع، وتكون هذه الفكرة الجديدة مقبولة في الحال لدى الأهلين ويسلم مباشرة للجيل التالي بأكمله. والطفرة والانتخاب هما عمليتان عشوائيتان وغالباً ما يتضمنان خطوات صغيرة فقط. ويتطلب الانتخاب أجيالاً كثيرة لهذه الخطوات حتى تظهر بوضوح ما بين الأهلين، وبمعنى آخر وبالمقارنة للتطور الأحيائي، فإن التطور الثقافي يكون سريعاً للغاية، وربما استغرق تطور الإنسان من الرئيسات الراقية مليوناً من السنين. ولكننا قد انتقلنا من "العصر الحجري" إلى العصر الذري في أقل من عشرة آلاف سنة.

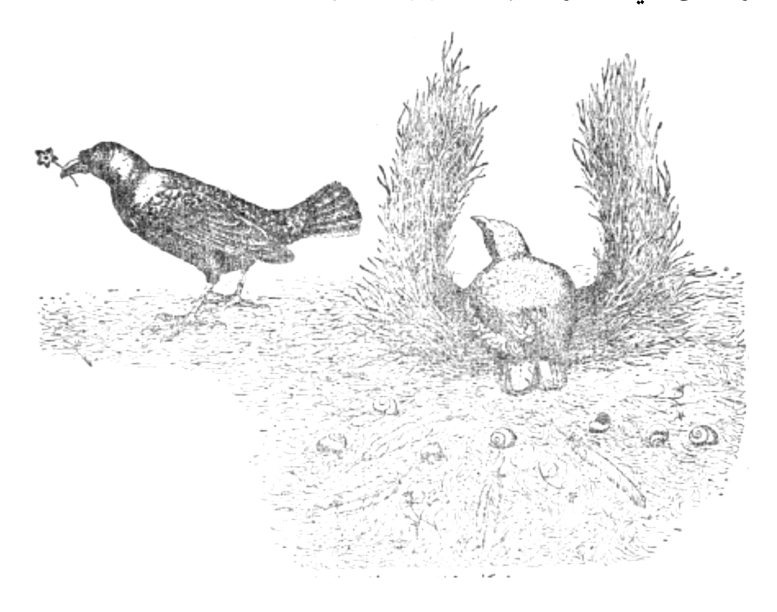
وكثير من التغيرات الثقافية هي نتيجة المجهودات الموحدة للاختراع، تلك الصفة الغريبة السيئة التعريف التي تسمى بالأسلوب. وكثيراً ما يترك هذان الجهازان التوأمان للتغير منتجاتهما خلفهما، معطية نوعاً من سجل حفري لذاتها. والمعمار مثل جيد على وجه الخصوص، فنحن نستطيع مثلاً، أن نتتبع التغيرات من معابد اليونان والرومان، إلى الكنائس المسيحية البيزنطية المبكرة، إلى الكاتدرائيات القوطية المبكرة والمتأخرة. والتغيرات جسيمة في هذه المتسلسلة (وخصوصاً إذا قورنت بالتغيرات التركيبية الهيكلية)، ومع ذلك فقد حدثت خلال بضعة آلاف من السنين بينما لزم تغير الهيكل من السمك إلى الثدييات أكثر من مائتي مليون سنة. والاختراعات في هذه المتسلسلة المعمارية

أتت في تحوير العقد المعماري كوسيلة للدعم وكوسيلة لتغيرات بنائية مختلفة أخرى سمحت لأبنية أكبر، بينما يرى تغير الأسلوب في جميع النحت والزركشة الصغيرة الدقيقة، كما يرى كذلك في بعض الخطوط الرئيسية.

وأحياناً في بعض محاولاتنا اليائسة لتمييز الإنسان من الحيوانات غالباً ما نذكر مثلين لاختراعين يعزلاننا بعيداً عن الحيوان. وأحدهما هو النار، وحقاً، لا توجد أي حيوانات أخرى يمكن أن تستعمل النار، وهذا قطعاً هو أحد اختراعات الإنسان العظيمة. الثاني هو استعمال الآلات، وفي هذا فالإنسان ليس فريداً في ذلك. وقد رأينا من قبل حالة طائر برقش جالاباجوس الذي يشغل القطاع البيئي الذي يشغله طائر نقار الخشب في مناطق أخرى ويعوض عن نقصه لمنقار طويل ملائم ينقر به القلف باستعمال شوكة نبات الصبار. ومثل آخر وحتى أكثر خيالاً يأتي من تلك الطيور الغريبة الموجودة في أستراليا والجزر المجاورة والتي تسمى بالطيور المعرشة. وحسب النوع، يبني الذكر نوعاً من البناء، غالباً ما يكون من فروع الشجر، يستخدم كمنصة لمطارحة الغرام. وغالباً ما يكون البناء متقناً، وتوضع حوله أشياء ذات ألوان مختلفة لتعطي تأثير الحديقة. وكلمة نهائية، نجد أن بعض الأنواع تأخذ حزمة من أغصان خضر في مناقيرها وتحكها ضد قطعة من فحم الخشب، ثم تحكها بعد ذلك على العيدان الداخلية لتعريشتها. وتعمل بعض أنواع أخرى زخرفتها الداخلية بحك عصارة الآس البري كمصدر للطلاء. والوظيفة الفسيولوجية لكل هذا النشاط هي في الظاهر عرض متقن استثنائي لمطارحة الغرام، متقن للغاية حتى ليظن أن فرشة الطلاء قد استخدمت فيه.

ولكن ليس مجرد استعمال الآلات هو الذي يميز الإنسان بل نوع الآلات. فالرمح والقوس والسهم والعجلة والرافعة وتكوين المواد الملائمة مثل المعادن،

قد أوقدت التغيرات الثقافية في الإنسان ومع تقدم التاريخ ترى اختراعاً يتبع الآخر، حتى نأتي لعصرنا ذي التكنولوجيا غير العادية.



شكل ٢٤– مطارحة الغرام للطائر المعرش الناعم الململس. يستعرض الذكر أمام تعريشته وتربض الأنثى في الطريق المركزي قبل الجماع مباشرة.

ومفروض أن تكون اللغة هي لمحة مميزة أخرى للإنسان. وكلما زادت معارفنا عرفنا أشياء كثيرة بخصوص التوصيل في الحيوانات، وتحققنا أن مقدار وأنواع المعلومات التي يمكن تبادلها بوساطة الحيوانات هي أعظم بكثير عن التي توقعناها من قبل. وحتى النحل يمكنه أن ينقل معلومات عن المسافة والاتجاه للرفقاء في الخلية. فإذا، وبكل تأكيد، ليست اللغة بأي من معانيها ميزة يختص بها، ولكنها كميزات أخرى توجد على درجات. وكون الإنسان قد شكل مجموعة معقدة من رموز وبخاصة أن هذه الرموز يمكن تسجيلها بسهولة (الكتابة هي أحد الاختراعات الهامة للإنسان) ساعدت مادياً بكل تأكيد في جميع

التغيرات الثقافية التي نناقشها. وقد تركت الكتابة سجلاً حفرياً مفصلاً جميلاً لتاريخنا الماضي. وجميع التكنولوجيا التي نعرفها الآن لا تتأتى إلا بوساطة كفاءة نظام التوصيل اللغوي، وكذلك جميع الأجهزة الفيزيقية التي تساعدها كالتليفون مثلاً. وكما يعتمد التطور الأحيائي على جهاز توصيل كفء ويقوم بتحسينه، كذلك يفعل التطور الثقافي.

والتخيل، غالباً ما يذكر كخاصية أخرى فريدة. وهذا واعتبارات نفسية أخرى يكون من الصعب غالباً تقييمها وقياسها، ولكن يجب أن ينظر إليها على أنها اختلاف في الدرجة. فمن المدهش في حالة الإنسان أن الخرافة منتشرة للغاية وظاهرة في عديد من الطرق حتى بين أكثر الناس مدنية، ولكن في نفس الوقت تصعب رؤية أي ظاهرة مكافئة لها في سلوك الحيوان. ويبدو أنها نواتج جانبية لنشاط المخ الأكثر نشاطاً وتعقيداً.

والإرادة الحرة إحدى مزايا الإنسان. والمفروض أن الإنسان هو أسمى جميع أشكال الحياة، لأنه قادر على اتخاذ القرارات. ومن رأيي أن هذه تفرقة جاوزت مبرراتها للغاية، وما هي إلا اختلاف في الدرجة فقط. فالحيوانات بكل تأكيد تتخذ قرارات وتمارس إرادتها الحرة. والاختيار الذي تنتهي إليه قد لا يكون مثيراً للاهتمام، ولكنها دائماً ما تواجه باختيارين أو أكثر أثناء بقائها في الطبيعة، ويتحتم عليها أن تختار. ومن الناحية الأخرى فإن قرارات كثيرة نتخذها ونعتبرها ممارسة حرة للإرادة ولكنها في الواقع ليست كذلك. ونحن ربما نتأثر وجدانياً بالعادات وبالدوافع الداخلية وبالرأي العام وبواسطة عوامل أخرى تميل أن تثبط حرية عزيمتنا. وقد أنتج حجم المخ الكبير في الإنسان إمكانيات أكثر لاختيارات وتصورات حرة، حتى إنه في الوقت نفسه قد سمح لقوى معقدة أكثر أن تؤثر على اختيارنا.

وقد انحدر الإنسان متطوراً من الرئيسات، وهو في هذا لم يفقد جيناته، ولحمه ودمه، وطبيعته الحيوانية. ولكنه تقدم كثيراً في مقدرته على التعلم ونقل المعلومات، ولذلك، فقد تفتحت له قوة التطور الثقافي، واستغلها بحماسة وعزم. وبجانب هذا الشيء الجديد تبدو جميع نواحي الإنسان الخاصة الأخرى باهتة بالمقارنة. ولكن كل واحدة من هذه الصفات، وهذه الواحدة من ضمنها هي فروق في الدرجة. وقد أنتجت الزيادة في حجم المخ وكذلك في التعقيد زيادة في المقدرة على التعلم، والتخيل، والتصميم... الخ. وفي بعض الحالات كان للتقدم أثر قليل، ولكنه في أحيان أخرى كان كافياً لفتح آفاق جديدة، عالم جديد .. عالم لم يعد الانتخاب الطبيعي فيه، للمرة الأولى في الحياة جميعها، هو العامل الوحيد للتبدل.

ويأتي بنا هذا للموضوع النهائي لمناقشتنا، لأنه إذا كان للتبدل الثقافي هذه التأثيرات العميقة، فربما نتساءل إذا: هل للانتخاب أثر ما على الجنس البشري؟ والجواب إيجابي قطعاً وبكل تأكيد، وذلك لأن التغيرات التاريخية ربما تؤثر على اتجاه قوى الانتخاب ولكنها قطعاً لا يمكنها إزالتها. ويأتي البرهان الحقيقي للانتخاب حين يمكن إظهار أن أناساً مختلفين من مناطق جغرافية مختلفة عندهم جينات مختلفة. وإذا كان هذا هو الحال، فيكون عندنا إذا دليل لأول وهلة على أن انتخاباً ما قد حدث منذ وقت قريب. ولما كان البرهان يدخل في نطاق الوراثة، فلننتقل إلى الموضوع التالي.

الوراثة

إن حقيقة وجود عناصر بشرية لدليل على أن هناك أوعية جينية وراثية مختلفة. والمميزات الفيزيقية للزنجي، أو الاسكيمو، او الهندي معينة وراثياً، فهي إذن قد نشأت بوساطة الانتخاب. وفي أغلب الأمور يخيم علينا جهل مطبق

بخصوص ماهية الميزات وعدم الميزات الانتخابية لأي صفات عنصرية خاصة. فمثلاً، يظن دائماً، أن الجلد الأسود هو تكيف خاص للشمس الأفريقية، ولكن حين يختبر عالم وظائف الأعضاء الموقف عن كثب، فيبدو أنه لن يجد هناك أي سبب يحول دون رفاهية الإنسان الأبيض في مناخ مشابه، والواقع يبرر ذلك. ومن المفروض أن تكون العظم العالية لوجنة الاسكيمو ونسب جسمه تكيفات مناخية، ولكن لا يستطيع أحد أن يثبت أن الإسكيمو أسمى في وظائف أعضائهم في البيئة القطبية الشمالية، وربما تأتي الإجابات من دراسات أبعد مدى، ولكن يجب اكتشافها بوساطة تجارب فسيولوجية، وليس بالتأمل النظري.

وربما يوجد برهان أحسن للتكيف في الحالة الغريبة للجينات المسئولة عن المرض المسمى أنيميا الخلية المنجلية. وهي حالة مرضية واسعة الانتشار بين سكان أفريقيا السود. وتزداد حيرتنا في هذا الموضوع، لأنه في الشكل المتشابه اللاقحات (أي كلا الجينات المتشابهة هما من خلايا منجلية) يكون للفرد شكل خاص من الهوموجلبين الذي يسبب الخلايا الحمر في أن تتخذ شكل المنجل، وغالباً ما يؤدي ذلك إلى الوفاة المبكرة للفرد. ونتوقع أن مثل هذا الجين غير المرغوب فيه يزول بسرعة عن طريق الانتخاب، ولكن النتيجة على العكس من ذلك. وربما يرجع التفسير إلى أن اللاقحة المتباينة (جين من خلية منجلية وجين طبيعية، تقاوم على وجه الخصوص نوعاً خطراً من الملاريا شائعاً في كثير من أجزاء أفريقيا. وإذا، فيكون الضغط الانتخابي لمتبايني اللاقحات قوياً للغاية، حتى إن الجينات تبقى بمقدارها حتى بالرغم من أن تشابه لاقحاتها مميت. وإذا كان هذا الشرح صحيحاً، ولا يوجد أي دليل على عكسه، كان لدينا المثل المضبوط على أن الانتخاب يعمل بين البشر في مجموعة من السكان.

وعادة تصعب معالجة وراثيات السكان من البشر عنها في الحيوانات، لأن

قليلاً جداً من الجينات معروف. وإحدى المحاولات كانت بمقارنة النتائج الوراثية الإجمالية للتوالد الخلطي في سكان المدن الكبيرة مع توالد عائلي في سكان القرى الصغيرة. والتنبؤ بأن مثل هذا التزاوج العائلي سيكشف عن الجينات المرغوب فيها وغير المرغوب فيها قد وجد حقيقياً، كما هو الحال كذلك في كثير من الخطوط الملكية ذات التزاوح العائلي.

وأحد التغيرات العظيمة لوراثيات السكان يتسبب عن الزيادة في النقل، ومن ثم التحرك الجماهيري للبشر. والنتيجة هي أنه في أيامنا هذه، بدلاً من تحبيذ عزل جغرافي أو أنواع أخرى من العزل، صار جميع سكان العالم على هذه الأرض وعاء انصهار واحد قد تخففت فيه ببطء اختلافات الأجناس. ولو أنه في تكوين نوع إنسان ما قبل التاريخ البدائي، أدى العزل الجغرافي إلى ظهور عناصر مختلفة، ولكن بالامتزاج بسبب الهجرة والسفر تتدفق العناصر البشرية المختلفة في الوعاء. فهل هذا يعني أننا متجهون لعالم يسود فيه في النهاية تجانس وراثي ككامل؟ والجواب هو مشكلة في حد ذاته، ولكنه إذا حدث، فسيدل على أنه بمثل هذا التوحيد سنكون نحن لدرجة عظيمة معوقين للانتخاب كعامل للتبدل. وستكون الحالات الفعالة فقط هي التي يجري فيها الانتخاب لأجل جميع سكان العالم، وأي انتخاب مناطقي سيخفف في الحال.

الإنسان

وكثيراً ما يثار موضوع علم تحسين الوراثة البشرية، بتربية البشر بطريقة ما لتحسين وعائهم الجيني– نوع من انتخاب غير طبيعي أو استئناس ذاتي، وبينما لا يكون هذا الاقتراب غير مستحيل من الناحية النظرية، إلا أن صعوبتين عظيمتين تكتنفانه: الأولى هي أننا لا نعرف إلا قليلاً جداً عن الجينات البشرية، لدرجة أن ما سننتخب من أجله سيكون غير معين بالضبط، والثانية هي أن

النفور المعنوي الذي ينشأ عن ممارسة التدخل في تشكيل البشر سيكون أمراً من الصعب التغلب عليه، وقد بدا هذا اقتراحاً بسيطاً لمثقفي سنة ١٩٢٠ عما هو لنا اليوم.

وعلم وراثة البشر في حالة يرثى لها إذا قورن بعلم وراثة ذبابة الفاكهة أو عفن الخبز. وتعرف بعض الجينات في الإنسان بالجين المشهور الذي يسبب الناعور أو الهيموفيليا. ففي هذا المرض الملكي، والذي غالباً ما يكون مميتاً، لا يتجلط الدم. وأهميته الخاصة هو أن الجين يقع على أحد الكروموسومات الجنسية (كروموسوم X)، والتي يكون منها اثنان في الأنثى وواحد في الذكر. وإذا كان عند رجل ما واحد من هذه الجينات المتنحية (ولا يمكن أن يكون لديه أكثر من واحد لما كان لديه كروموسوم × فقط)، يكون عنده المرض، ولكن لا تظهر الأنثى أي علامات للمرض مع أحد تلك الجينات، لأن الكروموسوم X الآخر سيكون عنده جين سوي سائد، وتصير هي، إذا، ناقلة ما لم تستقبل صفة الهيموفيليا من كل من أبويها، ثم بعدئذ يكون عندها المرض. ولكن كما في حالة أنيميا الخلية المنجلية، فإن الفرصة نادرة لظهور كائن متشابه اللاقحات كهذا.

وكثير من الصفات مما مثلاً، الشعر ولون العين، غالباً ما يتحكم فيها بعدد من الجينات. وعلى العموم فالعيون البنية سائدة على الزرقاء، ولكن يمكن أن تكون البنية والزرقاء ذات تركيب وراثي معقد، حتى إن النتيجة لا يمكن التنبؤ بها دائماً.

وإحدى الطرق المجزية الخاصة بالتحليل الوراثي للكائنات البشرية هي اختبار توائم متطابقة. وإذا كانت التوائم متطابقة، فإنها تأتي من نفس البيضة المخصبة (بازدواج مبكر لجنين واحد)، بينما التوائم الأخوية تأتي من بيضين مخصبتين منفصلتين بواسطة حيوانين منويين منفصلين. ولذلك يكونان مختلفين

وراثياً اختلافاً كلياً. وعلى هذا الأساس يكون من المستطاع دراسة حالات توائم متطابقة انعزل فيها كل توأم عن أخيه، ثم نحاول معرفة مدى أثر الاختلافات في البيئة على طبيعتها. وكذلك كم منها وراثي، وعلى ذلك فطري.

وأحد الأمور الصعبة التي يجب أن تفحص بعناية في مثل هذه التجارب هو التأكد من أن التوأمين متطابقان حقيقان وأنهما ليسا توائم أخوية فقط يشبه أحدهما الآخر شبهاً وثيقاً. وحتى التشابه الوثيق في المورفولوجيا الخارجية وإنجاز الاختبارات النفسية قد يترك بعض الشك الدفين. وتوجد الآن طريقة تعتبر أكثر فاعلية لإثبات أن التوائم ليست متطابقة، غير أنه لا يمكن إثبات العكس عن طريقها. وهذا أمر ذو أهمية خاصة هنا، لأنه يوضح ضرورة توافر الدقة في حساسية الاختبار لكي يظهر اختلافات الجينات.

وإذا أصيب أحد منا بجرثومة مرض ما، فإنه تواجد آلية خاصة في أجسامنا تبني بها الخلايا في العقد الليمفاوية كمية من جزيئات بروتينية كبيرة تسمى أجساماً مضادة. والأجسام المضادة هذه في مقدورها التفاعل مع منتجات الجرثومة (مولدات المضاد)، وبهذه الطريقة تقهر الجرثومة أخيراً، وتعود الصحة الجيدة ثانية. وإذا حدث و أعيدت إصابتنا بنفس الجرثومة بعد ذلك، فلن نصاب ثانية بالمرض، إذ سرعان ما تطرده الأجسام المضادة التي بقيت من المرة السابقة. وتصمم جميع للقاحات والتطعيمات، إما لتزود الأجسام المضادة مباشرة، أو لتسمح للجسم بعمل أجسامه المضادة لأمراض خاصة.

وهذه المناقشة هي تمهيد للمشاكل المتصلة بترقيع الجلد. فإذا كان عند الإنسان حرق قاس وفقد الجلد من على مساحة كبيرة، فإن من المفيد أن تغطي هذه المساحة بالجلد ثانية، لأن أنسجة مكان الحرق تغدو صلبة وعديمة المرونة. ويمكن عمل هذا بعناية، بشق الجلد من منطقة أخرى على هيئة شريحتين، وتترك

الشريحة السفلى متصلة بالجسم كأصلها وتوضح الشريحة العليا على منطقة الحرق.

وكلتا الشريحتين ستولد جلداً جديداً تاماً في مساحتيهما بالتوالي. وإذا أخذ الجلد من شخص آخر، فإنه سينمو ويبدو صحيحاً لبضعة أسابيع، ولكن لونه سيتحول بعدئذ إلى الأسود فجأة، ثم يموت، وينقشر. والسبب هو أن الشخص الذي أعطى الجلد للترقيع تركيباً وراثياً مختلفاً (حتى إذا كان توأماً أخوياً). وإن الغدد الليمفاوية قد صنعت أجساماً مضادة سبب هدم هذا التركيب — كأنه جرثومة غريبة. ولا تأتي الغدد مثل هذا الأسلوب مع جلدها، ولا مع جلد توأم مطابق، لأن التركيبات الوراثية، وكذلك تركيب مولدات المضادات لكلا العائل والطعم متطابقة.

وهذا يعني أنه إذا اختبر توأمان بوضع تطعيم جلد أحدهما على الآخر، وإذا استمر التطعيم إلى ما لا نهاية، أن التوأمين متطابقان، ولكن إذا نبذ، فتكون توائم أخوية. ولأجل هذه المشكلة الجديدة العامة يكون الاستنتاج الأخير هو المستطاع، أي إذا حفظ تطعيم الجلد، فربما تكون توائم أخوية. وقد عمل ب. ب. مداوز. و ر. أ. بيلنجهام الاكتشاف بأن هذا يمكن أن يحدث إذ أن دورتي المشيمة للتوأمين غير المتطابقين قد تلتحمان أو تتصلان وأن هناك تبادلاً بين خلايا الجنينين. وبهذه الطريقة يكون لكل من التوأمين الأخوين خلايا العقد الليمفاوية للآخر. كما تكون لديه خلايا عقده الأصلية، وإذا، سيحتملان كلا الجلدين. وكان في استطاعتهما باتباع هذا الاكتشاف إنتاج فئران تستطيع المقاومة وذلك بحقن خلايا العقد الليمفاوية لسلالة وراثية واحدة من الفئات في جنين الآخر. وتضمينات هذا الاكتشاف الهام تفحص حالياً من ناحية العمليات الجراحية للترقيع ومن الناحية الأساسية للتكوين عامة. والنقطة

التي تثير اهتمامنا في هذه المناقشة هي أنه من المستطاع إما طبيعياً في التوائم الأخوية ذوي دورة جنينية مشتركة) أو صناعياً أن ننتج فرداً له نفس تركيب خلاياه الوراثية وكذلك أخرى من فرد آخر. ويوجد هؤلاء الكايميرات أو الأفراد المركبون الوراثيون بين التوائم الأخوية البشرية.

وبجانب تفاعلات مولدة الضد – جسم مضاد، يوجد طريق أكثر أولية ولكنه هام لتمييز التوائم. فكلاب الشرطة الماهرة في تتبع الرائحة لا تستطيع التمييز بين التوائم المتطابقة. وإذا اقترف الجريمة أحد التوأمين، فيكون من المحتمل أن يقتفي أثر الأخ البريء. ويمكن للكلاب أن تميز التوأمين الأخويين، أي، إذا ما ودهت بأخوين بين مجموعة أناس لا ينتمون إليها فيستدل على كليهما إذا أعطيت رائحة أحدهما مقدماً. وهذه العملية ليست بالمؤكدة كما في حالة التوأمين المتطابقين. وكيمياء الخلية المعقدة يجب أن تنتج اختلافات في الرائحة متقنة فوق العادة، وكل من هذه الاختلافات متحكم فيه جينياً.

التكوين

مما يثير الاهتمام بخصوص التكوين البشري أنه شديد البطء إذا قورن بتكوين الحيوانات الأخرى – أي إن الفترة بين الإخصاب والنضج تمتد طويلاً. والفترة الجينية ليست نفسها طويلة عن المعتاد، لأن الثدييات الكبيرة، مثل فرس النهر تكون مدة الحمل فيها ثمانية أشهر وفي الفيل ثمانية عشر شهراً. ولكن يتم النضج الجنسي عند هذه الحيوانات الضخمة قبل الإنسان بفترة طويلة. وإذا نظرنا إلى القردة الكبيرة، نجد ان الشمبانزي ينضج جنسياً عن سن السابعة. وهذا وسط بين الإنسان البطيء والحيوانات السفلى السريعة في النضج.

ولهذه الفترة الأطول من النمو نتائج كثيرة تثير الاهتمام. فهي تعني بين أشياء أخرى فترة عناية أبوية تمتد طويلاً. ولكن أهم من ذلك، وربما يكون هو

السر في كل هذه الظاهرة، أنها توفر فترة تعلم تمتد أكثر طولاً. فأثناء فترة الشباب يكون المخ في حالة مرنة واعية، ولأنه توجد فترة طويلة للتعليم ولتأسيس مسالك الذاكرة في المخ، يكون من المستطاع في النهاية إنتاج التعقيد العجيب الذي هو العقل البشري. إذا، ربما لا تكون فترة التكوين الطويلة فترة خمول، ولكنها فترة مكرسة لإعداد الجهاز العصبي بإحكام.

ويوجد عدد من الأدلة على أن فترة النمو الأطول هذه قد حدثت عن طريق ظاهرة اختلاف الأوان. أي إن الجينات التي تعين معدل النضج تبدلت بالطفرة والانتخاب حتى إن الفترة الجنينية وفترة الشباب، امتدتا إلى ما هما عليه. فظاهرة اختلاف الأوان الغريبة تشبه، إذا، ظاهرة التبكير في التناسل (تناسل الصغار)، لأن تبكير التناسل هو إطالة لصفات الشباب في الحياة البالغة. وبجانب التكوين العقلي البطيء، نجد أن الإنسان عديم الشعر، وهي حالة مكافئة لحالة القرد الجنيني. ونجد كذلك عدداً من ملامح جنينية أخرى في الرجال البالغين: وزن المخ الكبير النسبي، اصطفاف الأسنان، الوجه المسطح، تقوس الجمجمة بالنسبة للحبل الشوكي. وحتى دروز الجمجمة تقترب وتلتحم في وقت أكثر تأخراً عنه في القرود والثدييات الأخرى. ومن هذه القائمة المذهلة يجب أن نستنتج أن التفوق العقلي للإنسان قد تحقق بإطالة الشباب. والآلة شديدة التعقيد تقتضي وقتاً أطول للتجميع، وإذا، فمن الضروري أن تتوافر فترة مرونة أطول للإنشاء. وهذا يؤكد القدر من طابع خلق الإنسان المستمد من التعليم والقدر في التشكيل المخي المستمد من الأبوين، ومن المدرسة، ومن جميع ألوان الخبرة، والذي يورث هو المقدرة على التعلم، وهذه المقدرة تستغل بحكمة على مر فترة طويلة من الزمن.

وهنا مظهر آخر هام في تكوين الإنسان نستعمله هنا في أوسع معانيه

لتاريخ الحياة، هو موضوع العمر المتقدم أو الشيخوخة. ونحن ندرك موضوع الكبر في الكائنات البشرية أكثر منه في الحيوانات الأخرى. ويعني هذا لنا شيئاً أبعد أثراً عن زيادة في عدد السنوات، ولكنه في الواقع تدهور جوهري للآلة البشرية أو الذي يسمى زيادة في الهرم. والتغيرات التي تحدث كلما تبلى الآلة يمكن وصفها تشريحياً، ولكن لا يزال سببها غامضاً. فإذا أزيلت أنسجة خاصة من الجسم، فإنها تستطيع الاحتفاظ بنمو دائم وعنيف في أنابيب الاستنبات على وسط صناعي لفترات طويلة جداً من الوقت (ربما إلى ما لا نهاية). أما في الجسم فتبلى نفس الأنسجة عند الشيخوخة. ولحد ما يمكن إظهار أن الغدد التي تنتج الهرمونات تظهر علامات إخفاق، والإخفاق بدوره يؤثر على أنسجة أخرى. ومع ذلك تعمل الإضافة الصناعية للهرمونات تحسينات وقتية صغيرة طفيفة فقط. ومع كل فما الذي ينتج تغيرات الغدة في المقام الأول؟ الشيء الوحيد الذي يمكن أن يشتبه فيه لأسباب قوية هو أن التغيرات متحكم فيها جينياً، وإن تداعي الجسم أمر يعينه الترتيب الوراثي كما كان بناؤه الأصلي تماماً. ونعود ثانية لقرارنا بأن جميع أطوار تاريخ الحياة هي فترات فعل جيني وتحت تحكم وراثي.

وبالطبع، فهذا لا يعني أن الجينات تعين اليوم الذي ستحدث فيه الوفاة، حقيقة أن الجينات تعين درجة وتوقيت الهرم، ولكن الوفاة نفسها هي دائماً مسألة مصادفة؛ ربما يكون السبب حادثاً فجائياً أو توقفاً في القلب، والشيء الوحيد الذي يحدث مع زيادة الشيخوخة هو زيادة فرص الوفاة. والحق أن جداول تأمين الحياة بنيت على أساس مراقبة الحياة، وهي في الواقع احتمال الوفاة أثناء أي فترة في حياة الفرد، وكلما تقدمت السنوات، كان الاحتمال عظيماً، وذلك بسبب الشيخوخة الوراثية المتحكم فيها جينياً. وفي البشر يكون

الاستثناء الوحيد لهذا الاتجاه بعد الولادة مباشرة حين تترك صدمة دخول العالم الطفل الصغير في حالة خطرة ومشكوك فيها؛ ولكن هذه الفترة المبكرة لترقب الحياة المنخفضة سرعان ما تختفي حين تبدأ فترة الطفولة.

ويوجد مظهر آخر لكبر السن، وهو بيئي أو وسطي، ويقودنا للموضوع التالي. مع زيادة العناية الطبية في هذا القرن، أصبح ترقب الحياة عظيم الامتداد. وفي الواقع كادت بريطانيا أيام الملكة إليرابيث تكون خلواً من المتقدمين في السن أي العجائز، ولكن هؤلاء يمثلون الآن جزءاً كبيراً من سكان العالم، على الأقل، في البلاد ذات الخدمات الطبية الممتازة. وهذا التغير في متوسط عمر أي شعب له آثار كبيرة، خصوصاً آثار اقتصادية متصلة بالتقاعد والعناية التي ما زالت تقلقنا. وحتى وجود العجائز ربما يؤثر على القوى الانتخابية التي تؤثر على أي سكان بشريين، حتى بالرغم من أن العجائز أنفسهم لا يتكاثرون. وفي الجوهر، فقد بدلنا على أساس إحصائي لترقب الحياة المتحكم فيه جينياً، ويجب علينا أن نتوقع تغيرات اجتماعية وتطورية، ولو أن هذه ربما كانت ذات طبيعة معقدة يصعب تحليلها.

البيئة

إن الخاصية ذات المغزى الكبير في إيكولوجية الإنسان، كما أوضحنا في المثل السابق، هي أنه يستطيع تبديل البيئة إلى حد كبير لتلائم (أو أحياناً تدمر) أغراضه الخاصة. فهو يريد أن يعيش حياة أطول، لذلك فهو يحسن العناية الطبية. وإذا كان يشعر بالبرد، فهو يبني منزلاً ويشعل فرناً، ويرتدي ملابس الشتاء الداخلية الطويلة. وبهذه الطريقة كان قادراً أن يعمل جميع الأشياء التي استغرقت الحيوانات في عملها ملايين السنين من الانتخاب والتطور. وفي إمكانه المعيشة في المناطق المدارية، وفي المناطق القطبية، وفي الصحراء، أو في الغابة

الممطرة، أو في أي مكان بين هاتين النهايتين. وأصبح قادراً على الطيران، وعلى السفر فوق أو تحت الماء، ويمكنه التحكم في الأنهار ليولد الكهرباء، ويستطيع أن يشكل بيئته الخاصة لتلائم نزواته، وجشعه، وإدراكه، وإنسانيته. وكل هذه المظاهر العجيبة تأتي من فترة التكوين الجنيني الممتدة والزيادة في حجم المخ.

ويمكن لبعض الحيوانات أن تحور بيئتها. فالقندس يحتاج إلى مياه عميقة لحمايته، وبناء منزل وغذاء شتوي، ولهذا السبب فهو يبني سداً. وأعشاش الطيور عازلة، وتستخدم كتدبير عازل مفيد ضد البيئة الطبيعية. والفرق كما ذكرنا من قبل، مسألة اختلاف في الدرجة، والإنسان طبعاً هو في أعلى الدرجات. وهو كذلك لأن لديه المقدرة على الاختراع والتصور، وإذا اختمرت الفكرة مرة أمكن نقلها مباشرة للجيل التالي. وسلوك القندس في بناء السد يعين وراثياً لدرجة كبيرة، وإذا، فهو جامد وبطيء في التقدم. وهذه الحالة أيضاً أكثر وضوحاً في أعشاش الحشرات، مثل بعض أعشاش النمل الأبيض الكبيرة المشيدة بإحكام، وذلك للتحكم في الحرارة والرطوبة لأجل الجماعة في الداخل.

وسيكون لهذا التحسن التقدمي لطرق تحوير البيئة تأثير آخر على تطور الإنسان. ويعني ذلك أنه لم يعد في استطاعة العوامل المناخية إنتاج قوى انتخابية قوية وبصراحة أكثر، فالجو داخل منزل مكيف الهواء متشابه في جميع أنحاء العالم. وإذا، فبالإضافة إلى كثرة الاختلاط والتزاوج الخلطي العظيمين المستمرين في العالم في هذه اللحظة ومع بداية اختفاء العوامل المناخية كمؤثرات انتخابية، يمكننا أن نتوقع أن إنتاج أنواع جديدة للإنسان قد صار أقل وأقل احتمالاً؛ وإذا، سيتقدم التطور الوراثي للإنسان بمنتهى البطء.

ويداوم الإنسان تبديل بيئته بطريقة أخرى مدهشة، وهي تبديل علاقته بالحيوانات والنباتات. فهو في المقام الأول يشن حرباً دائمة ضد طفيلياته.

وكلما تقدمت المدنية، يتناقص بثبات عدد الجاليات التي تعيش في استسلام هادئ ومتوازنة مع طفيلياتها البكتيرية، والبروتوزوية، والدودية. وتشكيلة الاستنباطات الطبية النوعية لمحاربة هؤلاء الأعداء تزداد جسامة كل يوم. والخطر فقط هو أنه، مع طفيليات قليلة، يكون لدينا حصانات أقل. ومع إمكانيات الطفرة بين الكائنات الدقيقة يجب أن نبقى متيقظين لانتشار وباء فجائي لعدوى وبيلة جديدة. وحقيقة إزالة الطفيليات بغير بدون شك القوى الانتخابية على الكائنات البشرية. فمثلاً، إذا أزيلت الملاريا كلية من أفريقيا – وهو ليس بالاحتمال غير المعقول مستقبلاً– فسيختفي إذا الضغط الانتخابي للاحتفاظ بجينات أنيميا الخلية المنجلية، وهذا بدوره يثير احتمالاً باختفاء هذه الجينات من بين السكان، نتيجة الانتخاب. وربما يحدث هذا بمعدل بطيء جداً، ولكن لم يعد في الإمكان تضحية أمر عدم استطاعة متشابهي اللاقحات على العيش نظير أي ميزة مستمدة من حالة تباين اللاقحات.

وقد صنع الإنسان، بالإضافة إلى تحوير طفيلياته، أشياء فوق العادة في تحوير الحيوانات والنباتات لتعطي طعاماً أكثر وفرة. واستئناس الحيوانات ثم تربية الحيوانات والنباتات انتخابياً لتنتج محصولاً أوفر.. كل هذه عمليات مجزية ثابتة لقرون. وحتى في العصر الحديث اكتشف ج. هـ. شل و إ. م. ايست – أنه إذا هجنت سلالتان نقيتان (متشابهتا اللاقحات) من الذرة، فسيظهر الجيل الأول قوة هجينية ملحوظة، وقد أدى هذا الاكتشاف إلى زيادة في محصول الذرة. يبدو أن كمية اللبن بالنسبة للبقرة الواحدة، والبيض بالنسبة للدجاج، واللحم بالنسبة للخنزير الواحد، الخ.. ترتفع كلها بثبات كلما تقدم علم الزراعة.

ولكن علاقة الإنسان بالحيوانات والنباتات البرية ليست سارة. فالدافع للصيد، وقطع الأشجار، وسلب بيئته الطبيعية لدرجة يصعب غالباً إصلاحها،

تبدو صفات أصيلة للإنسان. إنها روح المغامرة التي لا بأس منها يكون الإنسان حراً في أخذ طعامه من بين ملايين الأفدنة الجرداء، ولكن الدنيا في تغير، ببطء أولاً، ثم بسرعة، وبعد قليل سيكون هناك بشر كثيرون على الفدان الواحد. وسيقاسي من ذلك جميع الطيور، والنباتات، والثدييات. ونحن نعترف إلى حد ما بأن قلقنا لهذه الخسارة شيء عاطفي، ولكن هذه العاطفة ليست إثماً. إنها تستحق الاحترام رغم أنها قد تخلو من أي معنى نقدي.

وللصيانة الطبيعية معنى عملي كذلك. فبعض السلع محدودة على سطح الأرض في مواردها كالمعادن والبترول والفحم. وفي الحقيقة كل شيء يجلب من التربة محدود في الكمية. وحتى المحصولات التي يمكن أن تتكرر زراعتها، مثل محصولات الغابة أو التربة الزراعية، يمكن أن تضيع إذا لم يعتن بإرجاع ما يؤخذ. وغالباً لا يبذل أي جهد للعناية الملائمة، على الرغم من أن شعورنا نحو هذه المشاكل يزداد بثبات. وما يقلقنا هو أنه بالإضافة للمادة فإن العالم ستنقصه الطاقة الممكنة وسنفلس جميعاً. والأمل، إذا حدث هذا أن يأتي الخلاص عن طريق استغلال الطاقة الذرية، التي توجد حقيقة في ككمية غير محدودة. ولكن السؤال المؤسف، والذي نخشاه جميعاً ولا نستطيع أن نكون متأكدين منه هو: هل يمكن للنوع البشري أن يظهر نضجاً كافياً لاستعمال الطاقة الذرية في هذا الطريق، أو هل ستصر روح المغامرة القديمة على ازدياد في الإثارة وانطلاق أكثر مباغتة للطاقة الذرية؟ فالأفكار الجماعية للحكومات وللناس تصعب معالجتها، هذه ناحية واحدة من علم بيئة الإنسان لم تفهم بعد.

وجميع هذه الصعوبات التي تكتنف الإنسان في هذه اللحظة لها عامل رئيسي واحد، وهو أن نمو عدد الناس على الأرض يسير بخطى غير عادية. وليس مجرد تضخم السكان هو الذي سيؤثر على معدل الانتخاب للجينات

المختلفة. ولكن النجاح أو الفشل لمستقبلنا سيتقرر أسرع بكثير من ذلك. وقد خلق تضخم السكان مشاكل، ليست أحيائية فقط، بل لم يواجه الإنسان أو أسلافه مثلها من قبل، ولم تحسب قط حتى ثقافياً أو تاريخياً في النسب التي توجد عليها الآن. وليس لدينا أي فكرة على الإطلاق عن كيفية معالجتها.

وقد حدث بعض التضخم في السكان في بلاد غير صناعية، مثل الصين والهند، ولو أن الصين ترغم نفسها خلال حرمان لا يرحم لتصير صناعية. وبلاد أخرى، البلاد الغربية عامة، أصبحت متضخمة بالسكان كجزء من عملية التصنيع. والنتيجة النهائية في كلتا الحالتين هي تيه اقتصادي جسيم، حيث يكون توريد الطعام والبضائع وشراؤها المستمر واستهلاكها أمراً معقداً فوق أي تصور. ويعتمد العالم اليوم كلية على النظام التجاري الضخم الذي نما نتيجة التضخم في حجم سكان العالم. وقد أتى إلى الوجود بسرعة حتى إننا لا نفهمه جيداً، وكلما ازداد عدد السكان، سوف يتغير النظام التجاري ويتغير.

ويبدو أننا قد وقعنا في شبكة الرقي التقدمي، ونحن لا نعرف حتى إذا كنا متجهين الاتجاه الصحيح أو الخاطئ، وحتى إذا كنا مقتنعين بأنه الخطأ فلن يسعنا عمل أي شيء بخصوصه. كل ما نأمل فيه أن تظل القوى التي تؤثر علينا في نوع من التوازن، شأن التوازن في قوى الطبيعة، يحتفظ به برفق وبهدوء ودون تغيرات عنيفة. ونحن نتوقع التبدل والتقدم، ونتوقعهما أن يكونا سريعين وبخاصة أن التطور التاريخي هو الأكثر شأناً هنا من التطور الانتخابي، ولكن الأمل هو ألا يتحقق هذا بسرعة زائدة عن الحد المعقول، لأننا نشتاق بحرقة لتغير منظم ولس لكارثة.

كشاف تحليلي

(أ)

أجسام جولجي (تركيب يوجد في السيتوبلازم بجوار النواة)	Gogli bodies (structure found in the cytoplasm near the nucleus).
أجسام سبحية (أجسام صغيرة في السيتوبلازم تحتوي على بطاريات من إنزيمات تنفسية)	Mitochondria (small bodies in the cytoplasm containing batteries of respiratory enzymes).
أجسام مضادة (بروتينات تنتج بواسطة حيوان لتتحد وتعطل مولدة الضد المعتدية، كما في حصانة المرض)	Antibodies (proteins produced by an animal to combine with and inactivate an invading foreign antigen, as in disease immunity)
أجناس، في الإنسان،	Races, in man
أحادية (عدد الكروموسومات التي تتبع الانقسام المنصف أو الاختزالي. والكروموسومات ليست أزواجاً في النواة (زوجي) ولكنة منفردة	Haploid (the number of chromosomes following meiosis. Chromosomes are not paired in the nucleus (diploid) but are single).
أحماض أمينية	Amino acids.
أحماض نووية	Nucleic acids
إخصاب	Fertilization
في الحيوانات	In animals
في النباتات الراقية	In higher plants
أرانب برية، الحالة عند الولادة	Hares, condition at birth
أرانب (رومية) الحالة عند الولادة	Rabbits (conies), condition at birth
أزهار، علاقتها بالحشرات	Flowers, relation to insects
أرسطو	Aristotle
استقطاب (الصفة التوجيهية "مثل، محور رأس ذيل" للكائنات الحية)	Polarity (the directional quality [e.g., head tail axis] of living organism).

Culture	استنبات
Sponges	اسفنج
Flagella (whip – like structures involved in cellular locomotion; large cilia),	أسواط (تركيبات تشبه السوط مشتبكة في حركة خلوية. أهداب كبيرة)
of bacteria	البكتريا
Acetabular	أسيتا بيولاريا
Lichens	أشن
Wolf children	أطفال الذئب
Feral children	أطفال متوحشون
Recombination (the shuffling of characters usually as a result of the sexual process)	إعادة اتحاد (خلطة الصفات غالباً ما تكون نتيجة للعملية الجنسية)
Bird song	أغنية طائر
Hydroids, colonial.	أفراد هدريون، جماعيون
Averyon, wild boy	أفيرون، ولد مفترس
Actinomycete	أكتينوميسيت
Insectivores	آكلة الحشرات
Carnivores	آكلة اللحوم
Incompatibility mechanisms (methods of preventing self-fertilization or close inbreeding).	آليات عدم التوافق (طرق لمنع الإخصاب الذاتي أو التزاوج العائلي القريب)
Isolation mechanisms, in evolution.	آليات عزل، في التطور
Amphioxus	أمفيوكسس
Bile salts	أملاح الصفراء
Siphonophore	أنبوبيات
Natural selection	انتخاب طبيعي
Endoplasmic reticulum (double-membraned structures permeating the cytoplasm which are revealed by electron microscopy)	اندوبلازم شبكي (تركيبات مزدوجة الغشاء تتخلل السيتوبلازم والتي تظهر بالمجهر الإلكتروني)
Endosperm (yolky material surrounding the embryo of a higher	أندوسبرم (مادة محية تحيط جنين النبات

plant).	الراقي)
Enzymes (protein catalysts that control chemical reactions of organisms).	إنزيمات (عوامل مساعدة بروتينية تتحكم في تفاعلات الكائنات الكيميائية)
Mitosis (the nuclear changes usually accompanying cell division which result in each daughter cell receiving identical chromosomal complements).	انقسام غير مباشر (التغيرات النووية التي غالباً ما تصطحب انقسام الخلية الذي ينتج في خلية بنوية مستقبلاً مكملات كروموسومية متطابقة)
Meiosis (the nuclear changes which usually precede gamete formation and in which (a)- the chromosome number is reduced to the haploid number and (b)- crossing over, or the reshuffling of parts of the chromosome, occurs).	انقسام منصف أو انقسام اختزالي (التغيرات النووية التي غالبا ما تسبق تكوين المشيج والتي فيها (أ) ينقص عدد الكروموسومات إلى العدد الأحادي و(ب) العبور، أو يحدث إعادة خلط أجزاء الكروموسوم)
Sickle-cell anemia	أنيميا الخلية المنجلية
Cilia (whip-like structures involved in cellular locomotion; small flagella).	أهداب (تركيبات تشبه السوط مشتبكة في حركة خلوية، سوطيات صغيرة)
Obelia (a colonial hydroid).	أوبيليا (فرد هدري جماعي)
Oscillatoria (a blue-green alga).	أوسكيلاتوريا (طحلب أزرق – أخضر)
Epigenesis (causual embryology in which one set of conditions inevitably results in the next, etc.).	ايبيجينسس (علم الأجنة السببي حيث لا مفر من أن تنتج مجموعة من ظروف في التي بعدها، الخ)
East, E.M.	أيست، أ. م.
Metabolism (the conversion of chemical energy into the various living activities of an organism).	آبض أو تحول غذائي (تحول الطاقة الكيميائية إلى النشاط الحي المتنوع للكائن)
Einstein, A.	أينشتين، أ.

(ب)

Babbons	بابون (نوع من القردة)
Paramecium (a ciliate	بارامسيوم (بروتوزوا مهدبة)

protozoan).	
Sea squirts	بخاخ البحر
Ascidians	بخاخ البحر
Amphibians	برمائيات
Protozoa	بروتوزوا
Protococcus (a unicellular gree alga).	بروتوكوكس (طحلب أخضر وحيد الخلية)
Protein	بروتين
Briggs, R.,	بريجز، ر.
Bacteria.	بكتيريا
Blastula (an early stage of animal development where the embryo consists of a single layer or hollow sphere of cells)	بلاستولا (الجسيمية) (مرحلة مبكرة لتكوين الحيوان حيث يتركب الجنين من طبقة مفردة أو كرة مجوفة من الخلايا)
Plastid (laminated cell inclusion containing chlorophyll; the site of photosynthesis in green plants).	بلاستيدة (خلية متراصفة حاملة تحتوي الكلوروفيل، موقع التمثيل الضوئي في النباتات الخضراء)
Planaria (a flatworm).	بلاناريا (دودة مفلطحة)
Penicillin, resistance	بنسلين، مقاومة
Pancreas	بنكرياس
Polyp (hydra-like individual of colonial hydroid).	بوليب (فرد مثل الهيدرا لفرد هدري جماعي)
Beadle, G. W.	بيدل، ج. و.
Beerman, W.	بيرمان. و
Backer, J. R.	بيكر، ج. ر.
Billinghasm, R. E.	بيلنجهام، ر. أ.

(ت)

Tatum, E. L.	تاتم، أ. ل.
Induction (the process of one part of an embryo (the inductor or organizer region) stimulating another, responsive part to	تأثير (عملية جزء واحد من جنين "منطقة المؤثر أو المنظم" ينبه جزءاً آخر، جزءاً مستجيباً ليتكون)

develop).	
Domestication, of animals	تانيس، الحيوانات
Neoteny (the appearance, by heterochrony, of mature and productive sexual organs in organisms that are structurally immature or even larval),	تبكر في التناسل (المظهر، بواسطة الهيتيروكروني للأعضاء التناسلية الناضجة والمنتجة في كائنات غير ناضجة البناء أو حتى يرقية)
In man	في الإنسان
Transformation (the altering of the genetic constitution of an organism by the addition of DNA from a related variety)	تحول (تبديل تركيب البنية الوراثية لكائن بواسطة إضافة حامض ديزوكس ريبونيوكليك من نوع قريب)
Chemosynthesis (obtaining energy, i.e., fuel, by promoting an external chemical reaction).	تحليل كيميائي (حصول على الطاقة، أي وقود، بمساعدة تفاعل كيميائي خارجي)
Life expectancy in man	ترقب الحياة، في الإنسان
Inbreeding (where closely related individuals (e.g., brother-sister) mate, producing relatively homozygous offspring)	تزاوج عائلي (حيث أفراد ذو علاقة قريبة "مثل، أخ – أخت" يتزاوجان منتجين ذرية متشابهة اللاقحات نسبياً)
In man	في الإنسان
Adaptive radiation (the evolution from one type of organism to many divergent types having a variety of differing adaptive characteristics)	تشعع تكيفي (التطور من نوع واحد لكائن إلى أنواع متشعبة عديدة لديها تنوع من صفات متكيفة مختلفة)
Neurulation (the formation of the neural tube in vertebrate embryology).	تشكل عصبي (تشكل الأنبوبة العصبية في علم أجنة الفقاريات)
Species formation.	تشكيل النوع
Overpopulation	تضخم السكان
Polyploidy (where the basic set of chromosomes is duplicated more than twice).	تضاعف صبغي (حيث تتضاعف المجموعة الأساسية للكروموسومات أكثر من مرتين)

Skin grafting	تطعيم الجلد
Parasitism (where two organisms live together but where only one gains from the associations).	تطفل (حيث يعيش كائنان سوياً ولكن حيث يكسب واحد فقط من المشاركة)
In man	في الإنسان
Evolution	تطور
Of man	الإنسان
Orthogenesis (a steady trend in an evolutionally sequence, such as in the evolution of the horse)	تطور مستقيم (اتجاه ثابت في تتابع تطوري كما في تطور الحصان
Symbiosis (where two organisms live together and mutually benefit from the association).	تعايش (حيث يعيش كائنان سوياً ويستفيدان بالتبادل من المشاركة)
Learning	تعليم
In man	في الإنسان
Feeding	تغذية
Differentiation (regional differences in chemical composition and structure in a developing organism).	تفاضل (اختلافات مناطقية في التركيب الكيميائي والبناء في كائن نام)
Irritability (the responsiveness of protoplasm to external stimuli).	التفاعلية (استجابة البروتوبلازم للتنبيه الخارجي)
Division of labor	تقسيم في العمل
Reproduction, in animals	تكاثر، في الحيوانات
In plants	في النباتات
A sexual reproduction, in evolution	تكاثر لا جنسي، في التطور
Developments,	تكوين
In man	في الإنسان
Regulative development (where different regions of the embryo	تكوين تنظيمي (حيث تبقى مناطق مختلفة من الجنين جميع إمكانيات التكوين ويكون هناك إذا

retain all the potentialities of development and therefore there is perfect recovery after mutilation and removal of parts of the embryo).	استرداد كامل بعد فساد وإزالة أجزاء للجنين)
Mosaic development (where the fate of specific regions has already been blocked out in the embryo and therefore there is no recovery of lost parts in mutilation experiments(.	تكوين فسيفسائي (حيث قد سبق وسد المصير النوعي للمناطق في الجنين ولا يكون إذا استردادا للأجزاء المفقودة في التجارب الفاسدة)
Adaptation (any character of an organism which has been selected for in some particular environment).	تكيف (أي صفة لكائن انتخبت من أجل بيئة خاصة ما)
Photosynthesis (obtaining energy, i.e., fuel, by absorbing radiation from the sun).	تمثيل ضوئي (الحصول على الطاقة، أي، وقود بواسطة امتصاص الإشعاع من الشمس)
Coordination	تنسيق
Cross-breeding (where genetically different individuals mate, producing heterozygous offspring)	تهجين (حيث ينتج أزواج أفراد مختلفين تناسلياً ذرية متباينة اللاقحات)
In man	في الإنسان
Parthenogenesis (development of the egg without fertilization)	تولد بكري (تكوين البيضة بدون إخصاب)
Twins, in man,	توائم، في الإنسان
Ovoviviparity (having embryos which develop directly in the mother, but which are surrounded by egg membranes).	توالد بيض حي (يكون لديها أجنة تتكون مباشرة في الأم، ولكن تكون محاطة بأغشية البيضة)
Tinbergen, N,	تينبيرجن، ن.

(ث)

Carbon dioxide	ثاني أكسيد الكربون
Prothallus (the small independent structure that bears	ثالوس أولي (البناء الصغير المستقل الذي يحمل

egg and sperm in the life cycle of ferns. It is the gametophyte; i.e., it is haploid).	البيضة والخلية الذكرية في دورة حياة السراخس. أنها الطور المشيجي أي، أحادية)
Mammals	ثدييات
Stomata (sing: stoma) (small openings, usually on the underside of leaves, which permit water loss and gas exchange in higher plants).	ثغور (مفرد: فتحة الثغر) (فتحات صغيرة غالباً على الناحية السفلة للأوراق، تسمح بفقد الماء وتبادل الغاز في النباتات الراقية)
Thyroxin (the hormone secretion of the thyroid gland).	ثيروكسين (إفراز الهرمون للغدة الدرقية)

(ج)

Galton, F.	جالتون، ف.
Root	جذر
Mosses	جروبستين، س.
Grobstein, C.	جزازيات
Galapagos islands	جزر جالاباجوس
Gastrulation (the formation of a second layer of cells in the early development of animal embryos).	جسترولة (تشكيل طبقة ثانية من الخلايا في التكوين المبكر لأجنة الحيوانات)
Sex	جنس
Hormones,	هرمونات
In bacteria,	في البكتريا
Ginkgo (a primitive gymnosperm)	جنكجو (معراة البذور أولية)
Axolotl	جنين برمائي يتكاثر وهو جنين
Circulatory system	جهاز دوري
Coelenterates	جوف معويات
Goldschmidt, R.	جولد شمدت، ر
Army ants	جيش النمل
Jukes	جيوكس

(ح)

Steady state	حالة استقرار
DNA (deoxyribonucleic acid).	حامض ديزوكسيريبونيوكليك
RNA (ribonucleic acid)	حامض ريبونيوكليك
Brain size	حجم المخ
Size and complexity,	حجم وتعقيد
Increase in evolution,	زيادة في تطور
Relation to sex.	علاقة الجنس
Brownian movement	الحركة البراونية
Morphogenetic movement (the protoplasmic or cellular movements that occur during development which result in a permanent change in form)	حركة تشكل وراثي (الحركات البروتوبلازمية أو الخلوية التي تحدث أثناء التكوين والتي تنتج في تغير دائم في الشكل)
Bryophytes	حزازيات
Club mosses	جزازيات صولجانية
Insects,	حشرات
Social	اجتماعية
Aphids	حشرات المن
Horse, evolution of	حصان، تطور
Conservation	حفظ
Pregnancy, duration of	حمل، فترة
Tendrils	حوالق
Blue whale, size of.	حوت أزرق، حجم

(خ)

Sheep, breeding for behavior patterns	خراف، تربية لنماذج السلوك
Xylem (the wood; the hard tissue inside the cambium).	الخشب، (الخشب، النسيج الصلب داخل الكامبيوم)
Cells,	خلايا

Division of,	انقسام
Evolution of,	تطور
Size in.	حجم
Red blood cells	خلايا دموية حمراء
Hermaphrodite (an individual bearing both eggs and sperm).	خنثى (فرد يحمل كلا من البيض والحيوانات المنوية)

(د)

Darling, F. F.	دارلنج، ف. ف.
Darwin, C.	داروين، س.
Melanism (the unusually dark pigmentation of some animals).	داكن (التخصيب القائم غير العادي لبعض الحيوانات)
Drosera (sun dew, a carnivorous plant).	دروزيرا (ندى الشمس، نبات مفترس)
Drosophila (fruit fly).	دروسوفيلا (ذبابة الفاكهة)
Fat	دهن
Round worm	دودة حلقية
Diatoms	دياتوم
Annelid worms	ديدان حلقية
Flatworms	ديدان مفلطحة

(ذ)

Wolves.	ذئاب

(ر)

Radiolarian (a group of shelled protozoa).	راديولاريا (مجموعة من البروتوزوا المصدفة)
Wright, Sewall	رايت، سيول
Mollusks	رخويات
Rhizopus (a bread mold).	ريزوبس (عفن الخبز)

(ز)

زغابات (النتوءات الصغيرة في الأمعاء الدقيقة التي تختص بامتصاص الطعام في الجهاز الدوري)	Villi (the small projections in the small intestine which are concerned with the absorption of food into the circulatory system).
زندر، ن.	Zinder, N.
زواحف	Reptiles
زوجي (كل كروموسومة تمثل مرتين، تأتي في أزواج)	Diploidy (each chromosome in the nucleus is represented twice; they come in pairs).

(س)

سائد (حيث تعبر صفة وراثية تأثيرها حتى بالرغم من وجودها فقط في جرعة واحدة وليس في كلا زوج الكروموسومات، أي، مبايني اللاقحات)	Dominance (where a gene expressed its effect even though it is only present in one dose and not in both diploid chromosomes, i.e., heterozygous).
سبيروجيرا	Spirogyra
سبيروخيت (حلزونية)	Spirochete
سبيمان، هـ.	Spemann, H.
سراخس	Ferns
سرطان، نمو	Cancer, growth of
سكر	Sugar
سليلوز	Cellulose
سمكة أبو شوكة، ثلاث شوكات	Stickleback, three-spined.
سمكة شراعية	Sailfish
سمك، تطور	Fish, evolution of.
سوطيات (المجموعة من البروتوزوا)	Flagellates (a group of protozoa).
سيتوبلازم (جميع مادة الخلية خارج النواة وداخل غشاء الخلية)	Cytoplasm (all the cell substance outside of the nucleus and within the cell membrane).

Sequoias, growth in.	سيكويا، نمو في

(ش)

Shull, G. H.	شل، ج. هـ.
Schneirla, T. C.	شنيرلا، ت. س.
Echinoderms	شوكية الجلد
Senescence (the decay accompanying old age),	شيخوخة (الانحلال الذي يصحب كبر السن)
In man	في الإنسان

(ص)

Venu's flytrap	صائد الذباب (نبات)
Genes (the factors on the chromosomes which control developmental changes)	صفات وراثية (العوامل على الكروموسومات التي تتحكم في التغيرات التكوينية)
In man	في الإنسان
Recessive gene (where a gene fails to express itself since its effect is over-shadowed by that of the complementary gene in the other chromosome of the diploid set).	صفة وراثية متنحية (حيث تفشل صفة وراثية وأن تعبر عن نفسها لما كان تأثيرها قد حجب بواسطة الصفة الوراثية المتممة في الكروموسوم الآخر للمجموعة الزوجية)

(ض)

Frog, nuclear transplantation in	ضفدع، زرع نووي في

(ط)

Energy,	طاقة
For growth,	للنمو
For virus growth	لنمو الفيروس
Herring gull, feeding,	طائر نورس الرنجة، تغذية
Community	طائفة
Algae	طحالب
Lethal mutations,	طفرات مميتة

In man	في الإنسان
Mutation (a sudden, permanent, inherited change in the characteristics of any organism, caused by an alteration in the genes or chromosomes)	طفرة، (تغير فجائي، دائم، موروث في صفات أي كائن، تسببت بأي تغير في الصفات الوراثية أو الكروموسومات)
Gametophyte (a phase in the life history of many plants which bear the sex cells, the gametes, characterized by its cells having half the normal number of chromosomes, i.e., haploid)	طور مشيجي (طور في تاريخ حياة كثير من النباتات يحمل الخلايا التناسلية، الأمشاج، مميزة بخلاياها التي عندها نصف العدد الطبيعي للكروموسومات، أي أحادية)
Flying, as an adaptation	طيران، كتكيف
Birds	طيور
Darwin's finches	طيور براقش داروين
Bowerbirds	طيور معرشة

(ظ)

Polymorphism (the appearance of different types of individuals within a family or a species; e.g., King, Queen, soldier, and worker ants)	ظاهرة تعدد الأشكال (مظهر الأنواع المختلفة لأفراد داخل عائلة أو نوع، مثل، ملك، ملكة، جندي، وشغالة النمل)

(ع)

Crossing over (exchange or shaffling of parts of a chromosome during meiosis).	عبور (تبادل أو اختلاط أجزاء كروموسوم أثناء انقسام منصف أو انقسام اختزالي)
Ecological isolation (where two populations are separated by inhabiting different niches in one environment, or having differences in habits which tend to keep the population separate).	عزل بيئي (حيث يوجد قومان منفصلان بظروف مكونة مختلفة في بيئة واحدة، أو لديها اختلافات في عادات حيث تميل لحفظ القوم منفصلين)

عزل جغرافي (حيث يكون قومان معزولان بحاجز ما، كسلسلة من الجبال أو جسم من الماء)	Geographic isolation (where two population are separated by some kind or barrier, such as a mountain range or a body of water).
عشب البط	Duckweed
عصب، تنبيه	Nerve, impulse
عفن خلوي لزج	Cellular slime molds
علم البيئة (دراسة كائنات بالنسبة إلى بيئتها)	Ecology (the study of organisms in relation to their environment).
في الإنسان	Of man
علم الوراثة	Genetics,
في الإنسان	In man
علم الوراثة البشرية (تحسن السكان البشريين بالتحكم في التربية)	Eugenics (the improvement of human populations by controlled breeding).
علم وراثة السكان	Population genetics
عناية أبوية	Parental genetics
عين، تطور	Eye, evolution of.

(غ)

غدة نخامية	Pituitary gland
غزالة	Deer
غزل، مطارحة الغرام	Courtship
غزو الأرض	Conquest of land
غطاء سطح، في تكوين الجسترولة	Surface coat, in gastrulation.

(ف)

فطر	Fungi.
فطر مخاطي، عفن حقيقي لزج	Myxomycetes (true slime molds)
فطري	Instinct

Phycomycetes (water molds)	فطريات طحلبية (عفن الماء)
Vertebrates, origin of	فقاريات، أصل
Seals, Alaska Fur	فقمات، فراء آلاسكي
Cotyledons (seed leaves)	فلقات (أوراق البذرة)
Foraminifera (a group of shelled protozoa).	فورامينيفرا (مجموعة من بروتوزوا مصدفة)
Volvox (a colonial green alga).	فولفكس (طحلب أخضر جماعي)
Von Frisch, K.,	فون فريش، ك.
Portuguese man-of-war (a siphonophore).	فيزاليا (أنبوبيات)
Virus	فيروس
Fischer, R. A.,	فيشر، ر, أ.

(ق)

Conservation of energy, law of	قانون حفظ الطاقة
Squashes, shapes of	قرع تركي، أشكال
Gourds, shape of	قرع عسلي، شكل
Tracheae (small branching tubes which permeate the tissues of terrestrial insects and allow gas exchange).	قصبة هوائية (أنابيب صغيرة متفرعة تتخلل أنسجة الحشرات الأرضية وتسمح بتبادل الغاز)
Jellyfish	قنديل البحر

(ك)

Kallikaks,	كاليكاكس
Cambium (the lateral meristem between the xylem and the phloem which is responsible for the increase in girth of woody plants).	كامبيوم (المرستيم الجانبي بين الخشب واللحاء وهو المسئول عن الزيادة في جذع النباتات الخشبية)
Chimera (as in mythology, a composite individual, made up of parts of cells of more than one organism).	كايميرا (كما في الأساطير القديمة، فرد مركب، يتكون من أجزاء خلايا من أكثر من كائن)

Acromegaly (a human disease caused by excessive growth hormone secreation at maturity)	كبر الأطراف (مرض يصيب الإنسان يتسبب من زيادة إفراز هرمون النمو عند النضج)
Carbohydrates (sugars).	كربوايدرات (سكريات)
Chromosomes (bodies within the nucleus that contain the genes).	كروموسومات (أجسام داخل النواة التي تحتوي على الصفات الوراثية)
In man	في الإنسان
Kelp	كلب
Chlorophyll	كلوروفيل
King, T. J.,	كنج، ت. ج.
Kettlewell, H. B. D.,	كيتلول، هـ. ب. د.
Chitin	كيتين

(ل)

Lamarck, J. C. de,	لامارك، ج. س. دي،
Light, S. F.,	لايت، س. ف.
Phloem (the bast; the fibrous and conductive tissue of higher plants which lies outside the cambium but underneath the bark).	لحاء (اللحاء، النسيج الليفي والموصل للنباتات الراقية الذي يقع خارج الكامبيوم ولكن تحت القلف)
Bee language	لغة النحل
Luscher, M.	لوشر، م.
Lorenz, K.	لورينز، ك.
Lederberg, J.	ليدربرج، ج.

(م)

Mayer, A.	ماير، أ.
Heterozygosity (where the genes of a complementary pair in a diploid set of chromosomes are different).	متباينو اللاقحات (حيث الصفات الوراثية لزوج مكمل في مجموعة زوجية من كروموسومات تكون مختلفة)
Homozygosity (where the genes	متشابهو اللاقحات (حيث الصفات الوراثية

of a complementary pair in a diploid set of chromosomes are identical).	لزوج مكمل في مجموعة زوجية من كروموسومات تكون متشابهة)
Ant societies	مجتمعات النمل
Termite societies	مجتمعات النمل الأبيض
Gene pool (the total sum of all the different genes contained in a population of organisms).	مجمع صفات وراثية (المجموع الكلي لجميع الصفات الوراثية المحتوية في قوم من كائنات)
Electron microscope	مجهر إلكتروني
Yolk	مح
Medawar, P. B.	مداور، ب. ب.
Meristem (a growth zone).	مرستيم (منطقة نمو)
Placenta (a structure consisting of the close opposition of embryonic and maternal tissues which permits the passage of nutrients from the mother to the foetus).	مشيمة (بناء يتكون من اصطفاف متلاصق للأنسجة الجنينية والأموية التي تسمح بمرور الغذاء من الأم إلى الجنين)
Gastrula (an early stage of animal development where the embryo consists of two cell layers).	مصيدية (مرحلة مبكرة لتكوين الحيوان حيث يتكون الجنين من طبقتين من الخلايا)
Gymnosperms	معراة البذورة
Arthropods	مفصليات
Mendel, G.,	مندل، ج.
Laws of.	قوانين
Organizer (see induction).	منظم (انظر تأثير)
Ciliates (a group of protozoa).	مهدبات (مجموعة من بروتوزوا)
Antigens (substances that invade animals, such as virus or bacteria antigens, and which cause the production of anitbodies).	مولدات المضاد (مواد تغزو الحيوانات، كمثل مولدات المضاد لفيروس أو بكتيريا، التي تسبب إنتاج أجسام مضادة)
Mucor (in bread mold).	ميوكر (في عفن الخبز)

Gradients (the gradual increase or decrease in concentration of some substance, such as in a diffusion gradient).	ميول (الارتفاع أو الانخفاض التدريجي في تركيز مادة ما كما في ميل الانتشار)

(ن)

Mimosa	نبات الست المستحية
Pteridophytes	نباتات تريدية
Angiosperms	نباتات مغطاة البذور
Predaceous plants	نباتات مفترسة
Hemophilia	نزيف
Starch	نشاء
Kinetic theory of gases	نظرية الحركة للغازات
Centriole (minute granule adjacent to nucleus that divides and forms the poles of the centriole spindle during mitosis)	نقطة مركزية (حبيبة دقيقة مجاورة لنواة تنقسم ويكون قضباً النقطة المركزية مغزلي الشكل أثناء الانقسام غير المباشر)
Necturus (mud puppy)	تكنورس (جرو الطين)
Growth (the synthesis of new living substance).	نمو (تخليق مواد جديدة حية)
Hormones	هرمونات
Rates,	معدل
Relative	نسبي
Of tendrils,	حوالق
Zones (meristems).	مناطق (مرستيمات)
Tumor growth,	نمو ورمي
Nucleus (the central body in a cell containing the chromosomes).	نواة (الجسم المركزي في خلية يحتوي الكروموسومات)
In bacteria.	في البكتريا
Macronucleus (the large, polyploid nucleus found in ciliate protozoam e.g., paramecium)	نواة كبيرة (النواة الكبيرة ذات التضاعف الصبغي الموجودة في البروتوزوا المهدبة، مثل أنبراميسيوم)

Neurospora (a bread mold).	نيروسبورا

(هـ)

Hadzi, J.	هادزي، ج.
Harvey, W.	هارفي، و.
Haldane, J. B. S.	هالدان، ج. ب. س.
Hammerling, J.	هامرلنج، ج.
Migration, to new environments.	هجرات، لبيئات جديدة
Hybrids,	هجينات
Corn	قمح
In evolution	في التطور
Hybrid vigor (the vigorous growth and development that results when two different inbred lines are cross-bred).	هجين قوي (النمو القوي والتكوين الذي ينتج حين يتهجن نسلان طبيعيان مختلفان)
Hormones (substances which are produced in small quantities by one part of an organism and have a profound effect on other parts)	هرمونات (مواد تنتج بكميات صغيرة بواسطة جزء واحد لكائن وعندها تأثير عميق على بقية الأجزاء
Auxins (plant growth hormones)	هرمونات (هرمونات نمو النبات)
Digestion	هضم
Holtfreter, J.	هولتغريتر، ج.
Heterochrony (the changes in sequence and timing of events in the development and in other parts of the life history of organisms).	هيتيروكروني (التغيرات في تسلسل وتوقيت الحوادث في التكوين وفي الأجزاء الأخرى لتاريخ حياة الكائنات)
In man.	في الإنسان
Hydra	هيدرا
Hydractinia.	هيدراكتينيا
Wallace, A.	والس، أ.

(و)

ورقة	Leaf
وقوق	Cuckoo
ولادة الأحياء (عندها أجنة تتكون مباشرة في الرحم في الغياب التام لأغشية البيضة)	Viviparity (having embryos which develop directly in the uterus in the total absence of egg membranes).

(ي)

يوجلينا	Euglena.
يوري، هـ. س.	Urey, H. C.

الفهرس